

**PENGARUH SIKLUS PENGERINGAN DAN  
PEMBASAHAN TERHADAP SIFAT FISIK,  
MEKANIK DAN DINAMIK PADA TANAH  
TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO CROSS  
SECTION 0+500 DESA SEMAMBUNG  
BOJONEGORO YANG DISTABILISASI DENGAN  
KAPUR, FLY ASH, DAN MIKRO BIOBAKTERI**

Nama Mahasiswa : Muchamad Januar P. (NRP: 3111106032)  
Windy Safitri (NRP: 3111106026)  
Cyela Nor Safitri (NRP: 3111106028)  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng  
Musta'in Arif, ST .MT

**ABSTRAK**

Proses pengeringan dan pembasahan secara berulang yang terjadi pada tanah tanggul sungai dapat mempengaruhi sifat fisik, mekanik dan dinamik dari tanah itu sendiri, karena terjadinya perubahan volume tanah yang disebabkan oleh perubahan kadar air. Penelitian ini berlokasi di tanggul sungai Bengawan Solo *cross section* 0+500. Tanggul sungai yang dibangun dengan menggunakan material *river bed* sangat mudah tergerus oleh aliran air sungai, sehingga kestabilan tanggul sungai tidak bisa bertahan lama. Perbaikan tanah diperlukan agar tanggul lebih stabil. Dalam hal ini yang digunakan adalah perbaikan tanah secara kimiawi.

Penelitian ini menitikberatkan pengaruh proses pengeringan dan pembasahan terhadap sifat fisik, mekanik dan dinamik tanah yang distabilisasi dengan kapur, *fly ash*, dan mikro biobakteri. Sifat fisik meliputi kadar air ( $\omega_c$ ), angka pori ( $e$ ),

derajat kejenuhan ( $S_r$ ), *Specific Gravity* ( $G_s$ ), kepadatan kering ( $\gamma_d$ ), berat volume tanah ( $\gamma_t$ ), batas *Atterberg* (LL, PL, PI) dan analisa saringan dan hidrometer. Sifat mekanik meliputi kohesi ( $C_u$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ). Sifat dinamik meliputi modulus geser ( $G_{max}$ ) dengan alat Elemen Bender. Tanah natural dan tanah yang distabilisasi diuji untuk mengetahui nilai parameter sifat fisik, mekanik dan dinamik tanah. Tanah yang distabilisasi diuji dengan Proctor standar untuk mendapatkan  $\gamma_{dmax}$  dan  $\omega_{opt}$  dari masing-masing stabilisator. Kemudian dilakukan proses pengeringan dan pembasahan. Proses pengeringan dan pembasahan terhadap pengujian sifat fisik, mekanik dan dinamik tanah dilakukan pada siklus ke-1 dan ke-2, sedangkan proses pengeringan berulang dilakukan pada pengeringan ke-1, ke-2, ke-4, dan ke-6.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah yang distabilisasi dengan 6% kapur memberikan hasil yang paling optimum dibandingkan dengan *fly ash* dan mikro biobakteri. Klasifikasi tanah menjadi ML (USCS) dan A-4 (AASHTO). Nilai batas cair dan indeks plastisitas menurun paling tinggi yaitu 33.33 % dan 80.379 %, batas plastis menurun 13.249 %. Perubahan nilai batas-batas *Atterberg* dan perubahan klasifikasi tanah tersebut diduga diakibatkan oleh peningkatan persentase butiran kasar yang tinggi dan penurunan persentase butiran halus yang tinggi. Perubahan rata-rata angka pori ( $e$ ) menurun 2.087 %, tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) menurun 55.80 %, derajat kejenuhan ( $S_r$ ) meningkat 7.977 %, modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ) meningkat 30.551%, kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) meningkat 4.738 %, berat volume tanah ( $\gamma_t$ ) meningkat 5.209 %, dan kohesi ( $C_u$ ) meningkat 35.11 %.

**Kata kunci:** tanggul sungai, sungai Bengawan Solo, stabilisasi tanggul, kapur, *fly ash*, mikro biobakteri, siklus pengeringan dan pembasahan, sifat fisik, sifat mekanik, sifat dinamik

***THE EFFECT OF DRYING AND WETTING CYCLE  
TOWARDS PHYSICAL, MECHANICAL AND  
DYNAMIC CHARACTERISTIC OF BENGAWAN SOLO  
RIVER SOIL EMBANKMENT CROSS SECTION 0+500  
SEMAMBUNG BOJONEGORO VILLAGE WHICH IS  
STABILIZED WITH LIME, FLY ASH AND MICRO  
BIOBACTERI***

Nama Mahasiswa : Muchamad Januar P. (NRP: 3111106032)  
Windy Safitri (NRP: 3111106026)  
Cyela Nor Safitri (NRP: 3111106028)  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng  
Musta'in Arif, ST .MT

***ABSTRACT***

*The process of drying and wetting which is repeatedly occur in river embankment soil can affect the physical, mechanical, and dynamic characteristic from the soil itself, due to the soil volume changing which is caused by the changing of water content. This research located in Bengawan Solo river embankment cross section 0+500. The river embankment that built using river bed material is easily eroded by the river flow, so the river embankment stability couldn't last long. Embankment soil improvement is needed in order to be stable. In this case is used as a chemical soil improvement.*

*This research emphasizes the effect of drying and wetting process on physical, mechanical and dynamic soil characteristic that stabilized by lime, fly ash, and micro biobakteri. The physical characteristic include water content ( $w_c$ ), void ratio ( $e$ ), degree*

saturation ( $S_r$ ), Specific Gravity ( $G_s$ ), dry density ( $\gamma_d$ ), soil volume weight ( $\gamma_t$ ), Atterberg limits (LL, PL, PI) and sieving and hydrometer. Mechanical characteristic include cohesion ( $C_u$ ), shear angle ( $\phi$ ) and negative pore water stress ( $-U_w$ ). Dynamic characteristic include shear modulus ( $G_{max}$ ) with Element Bender tool. Natural soil and stabilized soil tested to determine the parameter values of physical, mechanical and dynamic soil characteristic. Stabilized soil tested with standard Proctor to get  $\gamma_{dmax}$  and  $\omega_{opt}$  of each stabilizer. The process of drying and wetting for the test of physical, mechanical and dynamic soil characteristic carried on 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> cycle, while the drying process repeatedly occur in the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 4<sup>th</sup>, and 6<sup>th</sup> drying.

The results showed that the soil is stabilized with 6% lime provide the most optimum results compared with fly ash and micro biobateri. Classification of land into ML (USCS) and A-4 (AASHTO). Value of the liquid limit and plasticity index declined highest of 33.33% and 80 379% 13 249% plastic limit decreased. Changes in the value of the limits Atterberg and soil classification changes such as a rise in a high percentage of coarse and fine grains decrease high percentage. The average changes of void ratio ( $e$ ) decreased 2,087%, the negative pore water stress ( $-U_w$ ) decreased 55.80%, the degree of saturation ( $S_r$ ) increased by 7,977%, the maximum shear modulus ( $G_{max}$ ) increased by 30 551%, the dry density ( $\gamma_d$ ) increased 4,738%, the soil volume weight ( $\gamma_t$ ) increased by 5,209%, and cohesion ( $C_u$ ) increased by 35.11%

**Keywords:** river embankment, Bengawan Solo river, embankment stabilization, lime, fly ash, micro biobakteri, drying and wetting cycles, physical characteristic, mechanical characteristic, dynamic characteristic



## DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1	.....	15
Rumus 2.2	.....	16
Rumus 2.3	.....	16
Rumus 2.4	.....	16
Rumus 2.5	.....	17
Rumus 2.6	.....	17
Rumus 2.7	.....	18
Rumus 2.8	.....	21
Rumus 2.9	.....	21
Rumus 2.10	.....	22
Rumus 2.11	.....	26
Rumus 2.12	.....	26

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR ISTILAH

$\omega_c$	Kadar Air	%
$\gamma_d$	Berat Volume Kering Tanah	$\text{kN/m}^3$
$\gamma_t$	Berat Volume Tanah	$\text{kN/m}^3$
$S_r$	Derajat Kejenuhan	%
$e$	Angka Pori	-
$n$	Porositas	%
$G_s$	Berat Jenis	-
$C_u$	Kohesi	$\text{kN/m}^2$
$-U_w$	Tegangan Air Pori Negatif	kPa
$G_{\max}$	Modulus Geser Maksimum	kPa
$E$	Modulus Elastisitas	$\text{kN/m}^2$
$\emptyset$	Sudut Geser Dalam	$^\circ$
UU	<i>Unconsolidated Undrained</i>	-
LL	Batas Cair	%
PL	Batas Plastis	%
PI	Indeks Plastisitas	%
$\sigma_3$	Tegangan Sel	$\text{kN/m}^2$
$V$	Kecepatan Rambat Gelombang Geser	$\text{cm/dt}$
$L$	Panjang Sampel Tanah	cm

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Tanah**

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1988).

Menurut Bowles (1984), tanah merupakan campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

- Berangkal (*boulders*), potongan batuan yang berkisar 150 mm sampai dengan 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*) atau *pebbles*.
- Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm.
- Lanau (*silt*), partikel batuan yang berukuran dari 0,002 sampai 0,074 mm.
- Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
- Koloid (*colloids*), partikel mineral yang diam, berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

#### **2.2 Klasifikasi Tanah**

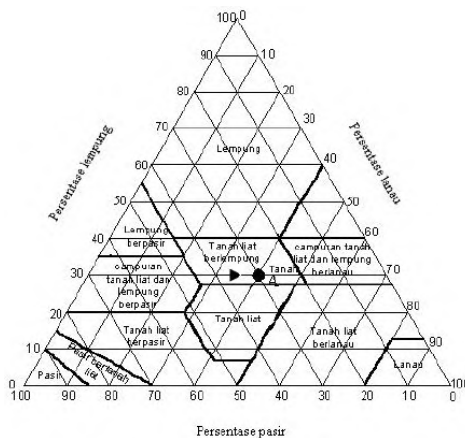
Klasifikasi tanah secara umum adalah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan sifat teknik dan karakteristiknya. Sebagian besar klasifikasi tanah menggunakan indeks pengujian yang sangat sederhana untuk

memperoleh karakteristik tanahnya. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya. Umumnya klasifikasi didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis hidrometer (percobaan sedimentasi) dan plastisitasnya (Hardiyatmo, H.C 2001).

### 2.2.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

Sistem ini membagi tanah dalam beberapa kelompok : kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*) atas dasar ukuran butir-butirnya. Pada gambar 2.1 menunjukkan klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang diterangkan sistem USDA yaitu :

- Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm
- Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm
- Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm



**Gambar 2.1** Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA). (Sumber : Braja M. Das, 1988)

### **2.2.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan American Associate of State Highway and Transportation Officials Classification (AASHTO)**

Sistem klasifikasi *Bureau of Public Roads* (BPR) yang asli pada akhir tahun 1920-an telah direvisi beberapa kali. Sistem AASHTO menklasifikasikan tanah kedalam kelompok, A-1 sampai A-8, namun kelompok tanah A-8 tidak diperlihatkan tetapi merupakan gambut atau rawa, dan pada awalnya membutuhkan data-data sebagai berikut :

1. Analisis ukuran butiran
2. Batas cair dan batas plastis dan IP yang dihitung.
3. Batas susut.
4. Ekvivalen kelembaban lapangan ialah kadar lembab maksimum dimana satu tetes air yang dijatuhkan pada suatu permukaan yang kecil tidak segera diserap oleh permukaan tanah itu.
5. Ekvivalen kelembaban setrifugal ialah sebuah percobaan untuk mengatur kapasitas tanah dalam air.

Pada garis besarnya tanah dikelompokkan menjadi 2 kelompok besar yaitu : kelompok tanah berbutir kasar (<35% lolos saringan No. 200) dan tanah berbutir halus (>35% lolos saringan No. 200).

A-1, adalah kelompok tanah yang terdiri dari kerikil kecil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir-butir halus.

A-2, adalah kelompok tanah yang terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butir halus No. 200.

A-3, adalah kelompok batas antara tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Terisi dari campuran kerikil/pasir dengan tanah berbutir halus cukup banyak (<35%).

Kelompok tanah berbutir halus dibedakan atas :

A-4, adalah kelompok tanah lanau dengan sifat plastisitas rendah.

A-5, adalah kelompok tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir-butir plastis.

A-6, adalah kelompok tanah lempung yang masih mengandung butir-butir pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.

A-7, adalah kelompok tanah lempung yang bersifat plastis.

**Tabel 2.1** Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa saringan (% lolos)							
No.10	maks 50						
No.40	maks 30	maks 50	maks 51				
No.200	maks 15	maks 25	maks 10	maks 35	maks 35	maks 35	maks 35
Karakteristik fraksi yang lolos ayakan No.40							
Batas cair (LL)				maks 40	maks 41	maks 40	maks 41
Indeks plastisitas (PI)	maks 6		NP	maks 10	maks 10	maks 10	maks 10
Indeks kelompok	0		0	0		maks 4	
Jenis-jenis bahan pendukung utama	fragmen batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Tingkatan umum sebagai tanah	Sangat baik sampai baik						

(Sumber : Bowles, 1984)



**Tabel 2.1** Klasifikasi tanah sistem AASHTO (lanjutan)

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% lolos ayakan No.200)			
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 ; A-7-6
Analisa saringan (% lolos) No.10 No.40 No.200	min 36	min 36	min 36	min 36
Karakteristik fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	mak 41 mak 10	min 41 maks 10	mak 40 min 11	min 41 min 11
Indeks kelompok	maks 8	maks 12	mak 16	mak 20
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagai tanah	sedang sampai buruk			

\*Untuk A-7-5,  $PI \leq LL-30$

\*Untuk A-7-6,  $PI > LL-30$

(Sumber : Bowles, 1984)

### 2.2.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS)

Klasifikasi berdasarkan *Unified System* (Das. Braja. M, 1988), tanah dikelompokkan menjadi :

1. Tanah butir kasar (*coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik.

Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, perlu memperhatikan faktor-faktor berikut ini :

1. Persentase butiran yang lolos ayakan no.200 (fraksi halus).
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan no.40.
3. Koefisien keseragaman (*Uniformity coefficient*, Cu) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, Cc) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan no.200.
4. Batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan no.40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan no.200).

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok seperti terlihat dalam Tabel 2.2 berikut ini :

**Tabel 2.2** Simbol klasifikasi tanah berdasarkan *Unified System*

Jenis Tanah	Simbol	Sub kelompok	Simbol
Kerikil Pasir	G S	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
		Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M	LL < 50%	L
Lempung	C	LL > 50%	H
Organik	O		
Gambut	PT		

(Sumber : Bowles, 1984)

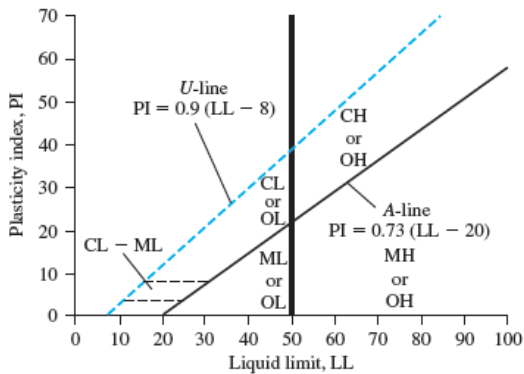
**Tabel 2.3** Sistem klasifikasi tanah *Unified*

Divisi utama			Simbol Kelompok	Nama umum
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No.200	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No.40	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan no.40	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No.200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)	
		OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi			PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi

(Sumber : Braja M. Das, 1988)

**Tabel 2.3** Sistem klasifikasi tanah *Unified* (lanjutan)

Kriteria Klasifikasi	
Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan No.200 Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200	$C_u = D_{60} / D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
	<div>             Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau <math>PI &lt; 4</math> </div> <div>             Batas-batas Atterberg di atas garis A atau <math>PI &gt; 7</math> </div>
	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	$C_u = D_{60} / D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
	<div>             Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau <math>PI &lt; 4</math> </div> <div>             Batas-batas Atterberg di atas garis A atau <math>PI &gt; 7</math> </div>
	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda

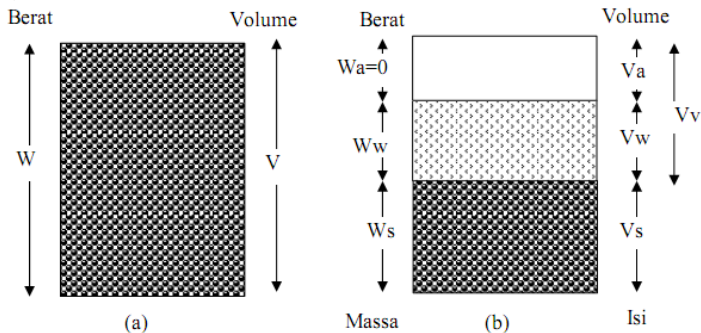


(Sumber : Braja M. Das, 1988)

## 2.3 Pengujian di Laboratorium

### 2.3.1 Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah yaitu sifat suatu elemen tanah yang berhubungan dengan elemen penyusunan masa tanah yang ada, misalnya volume tanah, kadar air, dan berat tanah. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian yaitu butiran padat, air, dan udara. Ilustrasi untuk memahami susunan elemen pada massa tanah dapat diasumsikan seperti Gambar 2.2 (Das, 1998).



**Gambar 2.2** (a) Elemen tanah dalam keadaan asli ; (b) tiga fase elemen tanah. (Sumber : Braja M. Das, 1988)

Pada gambar 2.2 (a) menunjukkan suatu elemen tanah yang mempunyai volume  $V$  dan berat  $W$ , sedangkan gambar 2.2 (b) menunjukkan hubungan volume dan berat dalam tiga fase yang dipisahkan (butiran padat, air, dan udara).

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah:

- Angka Pori ( $e$ ) adalah perbandingan antara volume pori ( $V_v$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ) yang dinyatakan dalam desimal, dapat dirumuskan :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots (2.1)$$

- b. Porositas ( $n$ ) adalah perbandingan antara volume pori ( $V_v$ ) dengan volume tanah total ( $V$ ) yang dinyatakan dalam persen atau desimal, dapat dirumuskan :

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots(2.2)$$

- c. Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) adalah perbandingan antara volume air ( $V_w$ ) dengan volume pori ( $V_v$ ) yang dinyatakan dalam persen, dapat dirumuskan :

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

- d. Kadar Air ( $w$ ) adalah perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran padat ( $W_s$ ) dalam tanah yang dinyatakan dalam persen, dapat dirumuskan :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

- e. Berat jenis (*Specific Gravity*) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $V_w$ ) pada temperatur  $4^0$  C. Berat dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75 (Hardiyatmo, H.C 2001). Nilai-nilai berat jenis dari berbagai tanah dijelaskan dalam Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau tak organik	2,62 - 2,68
Lempung organik	2,58 - 2,65
Lempung tak organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,8

(Sumber : Hardiyatmo, C.H 2001)

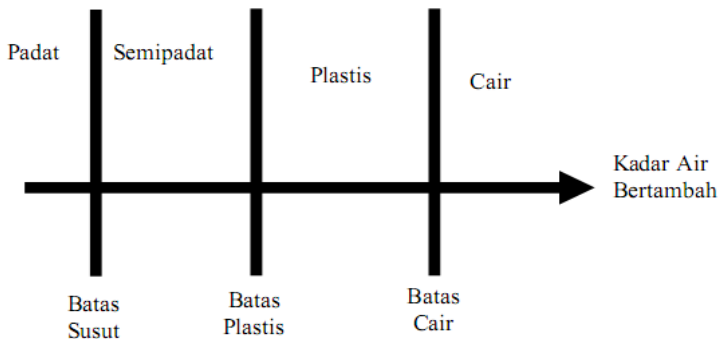
- f. Berat Volume Kering ( $\gamma_d$ ) adalah perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume tanah total ( $V$ ) ,dapat dirumuskan :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \dots\dots\dots(2.5)$$

- g. Berat Volume Butiran Padat ( $\gamma_s$ ) adalah perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ) ,dapat dirumuskan :

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots\dots\dots(2.6)$$

Kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas-susut (*shrinkage limit*). Kadar air di mana transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas-batas ini dikenal sebagai batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*). Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah disajikan dalam gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Batas-batas *Atterberg*. (Sumber : Braja M. Das,1988)

- a. Batas Cair (*Liquid Limit*) LL, didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.
- b. Batas Plastis (*Plastic Limit*) PL, didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.
- c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*) SL, didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan semi-padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah selanjutnya.
- d. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*) PI, adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah, atau  

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.7)$$

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, para ahli memberikan gambaran harga angka pori, kadar air dari tanah jenuh air, dan berat volume kering tanah asli sesuai yang terdapat pada Tabel 2.5 (Das, 1988).



**Tabel 2.5** Angka pori, kadar air dan berat volume kering untuk beberapa tipe tanah yang masih dalam keadaan asli

Tipe Tanah	Angka Pori (e)	Kadar air dalam keadaan jenuh (%)	Berat volume kering ( $\text{kN/m}^3$ )
Pasir lepas dengan butiran seragam ( <i>loose uniform sand</i> )	0.8	30	14.5
Pasir padat dengan butiran seragam ( <i>dense uniform sand</i> )	0.45	16	18
Pasir berlanau yang lepas dengan butiran bersudut ( <i>loose angulargrained silty sand</i> )	0.65	25	16
Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut ( <i>dense angulargrained silty sand</i> )	0.4	15	19
Lempung kaku ( <i>stiff clay</i> )	0.6	21	17
Lempung lembek ( <i>soft clay</i> )	0,9 - 1,4	30-50	11,5 - 14,5
Tanah (loess)	0.9	25	13.5
Lempung organik lembek ( <i>soft organik clay</i> )	2,5 - 3,2	90 - 120	6 - 8
Glacial till	0.3	10	21

(Sumber : Braja M. Das, 1988)

### 2.3.2 Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis. Pengujian untuk mengetahui sifat mekanik tanah meliputi :

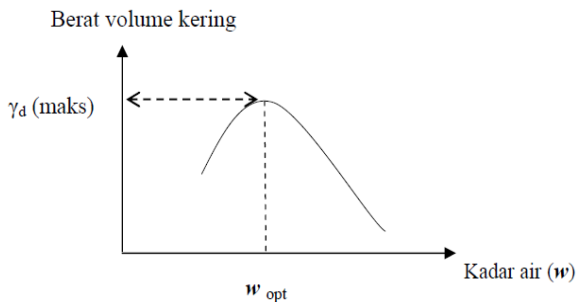
#### 2.3.2.1 Pengujian Pemadatan Standart Proctor

Pemadatan adalah suatu proses memadatnya partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Kepadatan tanah tergantung banyaknya kadar air, jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan

keras begitu pula sebaliknya bila kadar air banyak maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Pemadatan yang dilakukan pada saat kadar air lebih tinggi dari pada kadar air optimumnya akan memberikan pengaruh terhadap sifat tanah. Tujuan pemadatan tanah adalah memadatkan tanah pada kadar air optimum dan memperbaiki karakteristik mekanisme tanah, yang akan memberikan keuntungan yaitu :

- a. Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.
- b. Bertambahnya kekuatan tanah.
- c. Memperkecilkan pemampatannya dan daya rembes airnya.
- d. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air. (Hardiyatmo, C.H 2001)

Pemadatan tanah dapat dilaksanakan di lapangan maupun di laboratorium. Di lapangan biasanya tanah akan digilas dengan mesin penggilas yang didalamnya terdapat alat penggetar, getaran akan menggetarkan tanah sehingga terjadi pemadatan. Sedangkan di laboratorium menggunakan pengujian standar yang disebut dengan uji proktor, dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa lapisan tanah di dalam sebuah mold. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini, maka akan terdapat hubungan antara kadar air dengan berat volume.



**Gambar 2.4** Hubungan antara kadar air dan berat volume tanah (Hardiyatmo, C.H 2001)

### 2.3.2.2 Pengujian UCS (*Unconfined Compression Strength*)

Uji kuat tekan ini adalah suatu percobaan yang dilakukan terhadap suatu sampel tanah untuk menghitung dan mengetahui nilai kekuatan geser dan kohesi suatu tanah, serta mengukur regangan tanah akibat tekanan arah vertikal. Percobaan kuat tekan ini dapat mempercepat pemeriksaan kekuatan geser suatu tanah kohesif di laboratorium. Uji kuat tekan bebas termasuk hal yang khusus dari uji triaksial unconsolidated-undrained (tak terkonsolidasi-tak terdrainase). Kondisi pembebanan sama dengan yang terjadi pada uji triaksial, hanya tegangan selnya nol ( $\sigma_3 = 0$ ).

Pengujian ini hanya cocok untuk jenis tanah lempung jenuh, di mana pada pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir ke luar dari benda uji. Tegangan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Pada saat keruntuhannya, karena  $\sigma_3 = 0$  maka :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan  $q_u$  adalah kuat tekan bebas (unconfined compression strength). Secara teoritis, nilai  $\Delta\sigma_f$  pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh dari pengujian-pengujian triaksial unconsolidated undrained dengan benda uji yang sama. Di mana  $q_u$  atau  $c_u$  adalah kuat geser undrained dari tanahnya.

Jadi,

$$C_u = q_u/2 \dots \dots \dots (2.9)$$

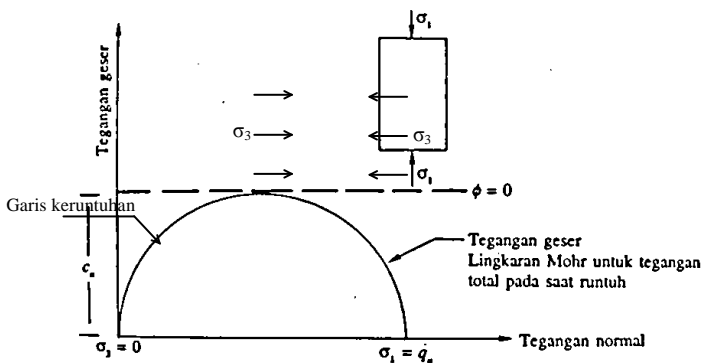
### 2.3.2.3 Pengujian Triaksial

Pada umumnya, pengujian ini kita lakukan dengan sampel tanah lempung dengan tidak mengalirkan air dari dan ke benda uji selama memberikan tekanan sel  $\sigma_3$ , dan uji ini menyajikan konsep kekuatan geser tanah yang sangat penting untuk tanah berkoheesi yang jenuh air. Tambahan tegangan aksial  $\sigma_1$  dilakukan terhadap benda uji secara relatif cepat sampai mencapai keruntuhan.

Pada saat tanah mencapai keruntuhan  $(\Delta\sigma_d)_f$  akan praktis selalu sama besarnya, berapapun besarnya harga tegangan sel yang ada. Hal ini terlihat pada Gambar 2.5. Garis keruntuhan untuk tegangan total dari lingkaran-lingkaran tegangan Mohr berbentuk garis horizontal dan disebut sebagai garis  $\phi = 0$  dan

$$\tau_f = C_u \dots\dots\dots (2.10)$$

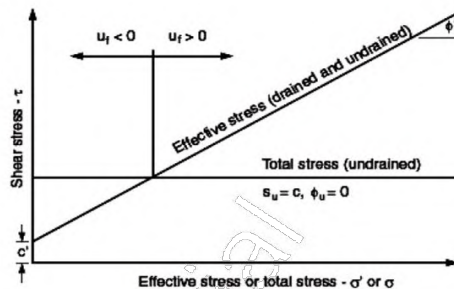
dengan  $C_u$  adalah kekuatan geser air-termampatkan (*undrained shear strength*) yang besarnya sama dengan jari-jari lingkaran Mohr (Das, 1988).



**Gambar 2.5** Garis keruntuhan dari lingkaran Mohr dengan uji triaxial *unconsolidated undrained*.  
(Sumber: Braja M. Das, 1988)

Pada kondisi tanah lempung *normally consolidated*, parameter kuat geser *undrained* lebih rendah dibandingkan dengan kuat geser *drained*. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan

air pori meningkat dan tegangan efektif menurun dalam kondisi *undrained*. Kenyataan untuk tanah lempung *over consolidated* ternyata berkebalikan. Kuat geser *undrained* ternyata lebih besar dibandingkan kuat geser *drained*. Hal ini disebabkan tekanan air pori menurun dan tekanan efektif meningkat dalam kondisi *undrained*. Dalam Gambar 2.6 ditunjukkan perbedaan antara parameter kuat geser *overconsolidated* dan *normally consolidated*.



**Gambar 2.6** *Strength envelope* untuk tanah lempung *saturated drained*. (Sumber: Duncan dan Wright, 2005)

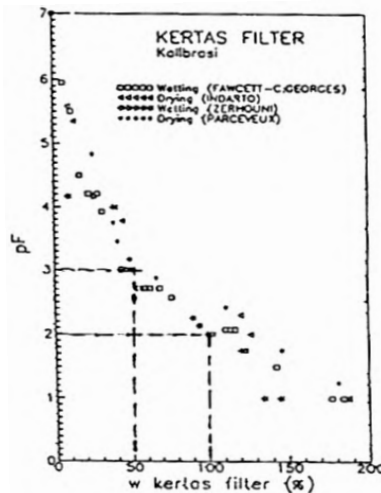
#### 2.3.2.4 Pengujian Angka pori Negatif dengan Kertas Filter

Prinsip dasar yang digunakan metode kertas filter ini adalah hipotesa bahwa pada suatu titik kesetimbangan (*equilibrium*), tegangan air pori negatif dalam suatu contoh tanah dan dalam suatu kertas filter yang berada dalam kondisi kontak dengan contoh tanah tersebut adalah sama. Dalam pengukuran kertas filter, contoh tanah harus dijaga agar tidak mengalami perubahan suhu yang drastis sehingga kadar airnya konstan. Metode pengukuran tegangan air pori negatif dengan kertas filter pertama kali diperkenalkan oleh Gardner (1973), ia mengestimasi bahwa tekanan air pori negatif 30 kPa sampai 100.000 kPa dapat diukur dengan metode kertas filter.

Dalam praktek, kertas filter diletakkan pada contoh tanah yang ingin diketahui besarnya tekanan air pori negatif yang

bekerja, selanjutnya dibiarkan selama beberapa hari hingga diperkirakan mencapai keseimbangan. Selama itu contoh tanah harus dijaga agar kadar airnya tetap konstan dan dan temperature sekelilingnya juga dijaga agar tidak mengalami perubahan yang drastis. Untuk contoh tanah yang diberikan siklus pembasahan-pengeringan dapat ditentukan dari kondisi yang paling ekstrim, atau besarnya tekanan air pori negatif dapat langsung diketahui. Misalnya kertas filter yang jenuh, maka tekanan air pori negatif dapat langsung diketahui.

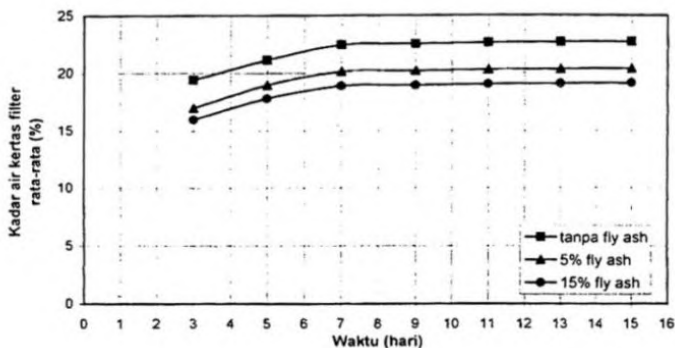
Misalnya kertas filter yang jenuh, maka tekanan air pori negatifnya adalah 0. Sedangkan pada kondisi kering sekali (kadar air = 0), tekanan air pori negatif nya mencapai -106 kPa. Untuk mengetahui tekanan air pori negatif terhadap kertas filter yang dipakai, maka setiap tahap perlu dihitung kadar air dari kertas filter yakni dengan menimbang kertas filter tersebut. Selanjutnya dengan menggunakan grafik hasil kalibrasi kertas filter, dapat diketahui besarnya harga tekanan air pori negatif.



**Gambar 2.7** Kalibrasi kertas filter jenis Whatman no. 42 oleh beberapa peneliti. (Sumber : Indarto, 1995)

Pada Gambar 2.7 dapat dilihat hasil grafik kalibrasi untuk kertas filter tipe Whatman no. 42 dari beberapa peneliti. Agar kertas filter terhindar dari kemungkinan kerusakan serta kemungkinan adanya bakteri, Fawcett dan George (1976) memproses kertas filter dengan mencelupkannya pada larutan 0,005% HgCl, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°F. Sedangkan Parcevaux (1980) dan Indarto (1991) membungkusnya dengan kertas filter biasa untuk menghindari masuknya kotoran.

Panjaitan (2000) dalam penelitian yang menggunakan kertas filter Whatman no. 42 menemukan bahwa kondisi keseimbangan akan tercapai setelah kertas filter diperam (didiidamkam di dalam benda uji) minimal 7 hari. Gambar 2.8, menunjukkan fungsi waktu terhadap kadar air kertas filter. Untuk itulah dalam pengukurannya, contoh tanah harus dijaga agar tidak mengalami perubahan suhu yang drastis sehingga kadar airnya konstan. Penelitian ini juga menerapkan metode yang sama, dan dipilih kertas filter yang dipakai oleh banyak peneliti, yaitu jenis Whatman no. 42.



**Gambar 2.8** Fungsi waktu dalam pemeraman benda uji terhadap keseimbangan kadar air kertas filter. (Sumber : Panjaitan, 2000)

### 2.3.3 Sifat Dinamik Tanah

Melakukan analisa respon dinamik seperti penurunan seketika, deformasi atau penggeseran dari pondasi akibat beban dinamis, diperlukan parameter penting yaitu modulus geser (*shear modulus*). Untuk mendapatkan parameter tersebut ditentukan dengan percobaan di laboratorium, tes di lapangan, atau korelasi empiris. Salah satu tes laboratorium tersebut adalah tes Elemen Bender (*Bender Element test*). Pada tanah kohesif, parameter dinamik tersebut sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kepadatan dan indeks plastis tanah, tekanan keliling, amplitudo regangan geser dan sejarah pembebanan yang sebelumnya dialami tanah tersebut (Hardin and Drnevich, 1972).

Alat ini cukup sederhana dan cukup baik untuk menghitung modulus geser tanah pada regangan rendah yakni melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang geser yang melalui sampel tanah.

Dengan alat Elemen Bender, kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dapat dihitung. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung  $V_s$ .

$$V_s = \frac{L}{t} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana  $L$  adalah jarak efektif atau panjang sampel tanah, sedangkan  $t$  adalah waktu tempuh yang diperlukan oleh gelombang geser untuk merambat di tanah. Dengan menggunakan persamaan berikut, modulus geser maksimum ( $G_{maks}$ ) dapat ditentukan.

$$G_{maks} = \rho V^2 \dots\dots\dots (2.12)$$

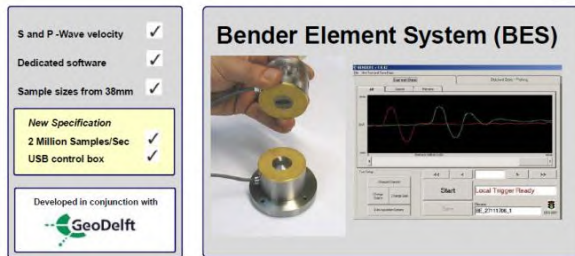
dimana :

$\rho$  : kerapatan massa tanah =  $\gamma/g$  (gr.dt<sup>2</sup>/cm<sup>4</sup>)

$V$  : kecepatan rambat gelombang geser (cm/dt)

$\Gamma$  : berat volume tanah (gr/cm<sup>3</sup>)





**Gambar 2.9** Alat Bender Elemen yang dikembangkan oleh GDS Instrumen Belanda. (Sumber : Muntaha. M, 2010)

## 2.4 Bahan-Bahan Stabilisator

### 2.4.1 Bahan Stabilisator Kapur

Kapur merupakan salah satu bahan bangunan yang digunakan untuk perbaikan tanah. Alternatif penggunaan kapur sebagai bahan perbaikan tanah merupakan suatu proses perbaikan tanah secara kimiawi.

Kapur adalah additive yang mengandung kation-kation Ca dan Mg yang mampu menetralsisir sifat kembang susut tanah yang besar. Selain itu kapur juga berfungsi untuk merangsang terjadinya proses sementasi antara butiran tanah sehingga membentuk gumpalan partikel yang lebih besar sehingga plastisitas tanah akan berkurang, yang akhirnya juga berpengaruh terhadap penambahan kekuatan tanah.

Dari penelitian sebelumnya (Wang, Matcos dan Davidsco, 1963 dikutip dari Rianto, Fikriyah dan Laksito, 2007) dikatakan bahwa dengan adanya penambahan kapur akan mengurangi harga *Liquid Limits* dan *Plasticity Index*, bahkan terjadi penurunan yang mencolok pada harga Atterberg Limits pada penambahan kapur 4%.

Dalam penelitian yang lain (Sudirham, 1998 dikutip dari Rianto, Fikriyah dan Laksito, 2007) dikatakan bahwa dengan pemakaian kapur baik bentuk powder mampu menurunkan harga *Plasticity Index* hingga 64%. Hal ini diperkuat dengan adanya penelitian di daerah Cepu Sudjanarko Sudirham dan Ria Asih Aryani Soemitro

(1986). Dikatakan pula penambahan kapur dengan kadar 10% akan mampu mengurangi harga swelling yang relatif besar.

#### 2.4.2 Bahan Stabilisator *Fly Ash*

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batu bara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metoda penyimpanan dan penimbunan. Adapun komposisi kimia dan klasifikasinya seperti dapat dilihat pada Tabel 2.6

**Tabel 2.6** Komposisi dan klasifikasi *Fly Ash*

Komponen (%)	Bitumius	Subbitumins	Lignit
SiO <sub>2</sub>	20-60	40-60	15-45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-35	20-30	20-25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO <sub>3</sub>	0-4	0-2	0-10
Na <sub>2</sub> O	0-4	0-2	0-6
K <sub>2</sub> O	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

(Sumber : Sri Prabandiyani R.W., 2008)

#### 2.4.3 Bahan Stabilisator Mikro biobakteri

Mikro biobakteri adalah cairan yang mengandung mikroba. Mikroba itu sendiri adalah organisme yang berukuran sangat kecil sehingga untuk mengamatinya diperlukan alat bantu mikroskop (Madigan, MT; Martinko JM, Dunlap PV, Clark DP).

Mikro biobakteri digunakan sebagai inovasi untuk memperbaiki tanah asli yang mempunyai nilai daya dukung yang rendah sehingga kekuatan dari daya dukung tanah tersebut bertambah. Mikro biobakteri yang digunakan untuk bahan stabilisasi pada penelitian ini merupakan salah satu inovasi bioteknologi berbentuk cairan yang dibuat dari bahan organik, protein, biopolimer yang difermentasikan oleh mikroba yang

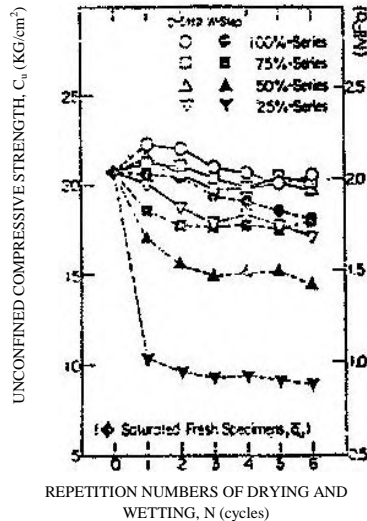
menguntungkan. Mikro biobakteri tersebut bersifat ramah lingkungan, tidak beracun dan tidak berbahaya bagi manusia dan makhluk hidup lainnya yang berhubungan dengan pengerjaan dalam stabilisasi tanah. (PT. Bangun Mukti Abadi)



**Gambar 2.10** Gambar mikro biobakteri  
(Sumber : Penelitian, 2014)

## **2.5 Siklus Pengeringan dan Pembasahan (*Drying- Wetting*)**

Secara alamiah, siklus pengeringan-pembasahan yang berulang secara terus menerus sepanjang waktu akan mengakibatkan terjadinya perubahan pada kekuatan tanah. Maekawa dan Miyakita, menyimpulkan bahwa jumlah siklus pengeringan-pembasahan dan tingkat pengeringan mempengaruhi kekuatan geser tanah (Gambar 2.10). Dari penelitian ini, juga menunjukkan bahwa jumlah siklus pengeringan-pembasahan memperbesar perubahan parameter tanah dan terlihat pada siklus ke 5 dan 6 parameter tanah cenderung konstan dan berusaha menunjukkan pengaruh siklus pengeringan-pembasahan dan pengulangannya terhadap kekuatan dinamik tanah.

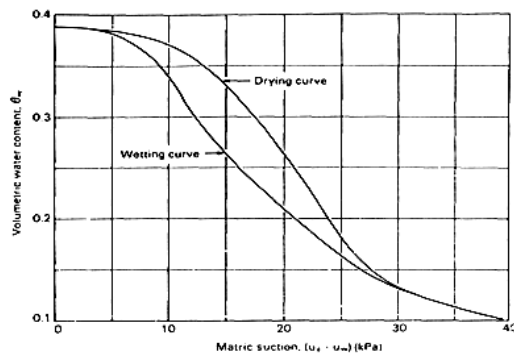


**Gambar 2.11** Hubungan antara *unconfined compressive strength* dan pengulangan siklus pengeringan-pembasahan. (Sumber:Maekawa dan Miyakita, 1991)

Proses pengeringan (*drying*) adalah suatu kondisi dimana kadar air di dalam suatu pori-pori tanah mengalami penurunan. Sebaliknya, proses pembasahan (*wetting*) adalah suatu kondisi dimana terjadi peningkatan kadar air di dalam pori-pori suatu massa tanah. Gambar 2.11 menunjukkan adanya hubungan antara nilai tegangan air pori negatif (*suction*) dan kadar air pada suatu tanah yang membentuk suatu pola *hysteresis* dan merupakan bentuk khas dari kurva pengeringan dan pembasahan (*drying-wetting curve*) suatu tanah. Kurva yang tidak berhimpit tersebut disebabkan karena tanah bukan material yang bersifat negatif.

Dari gambar ini dapat diambil suatu kesimpulan bahwa proses pengeringan akan menyebabkan meningkatnya air pori negatif dan sebaliknya proses pembasahan dapat menyebabkan mengecilnya tegangan air pori negatif. Proses pembasahan

dilakukan dengan meneteskan sampel tanah setetes demi setetes dalam rentang waktu tiga puluh menit sampai tanah mencapai kadar air yang diinginkan. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar air dapat meresap ke dalam tanah. Proses pengeringan dilakukan dengan mengangin-anginkan sampel tanah sampai tanah mencapai kadar air yang diinginkan (Fredlund dan Rahardjo, 1993).



**Gambar 2.12** Bentuk khas kurva pengeringan dan pembasahan.  
(Sumber : Fredlund dan Rahardjo, 1993)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

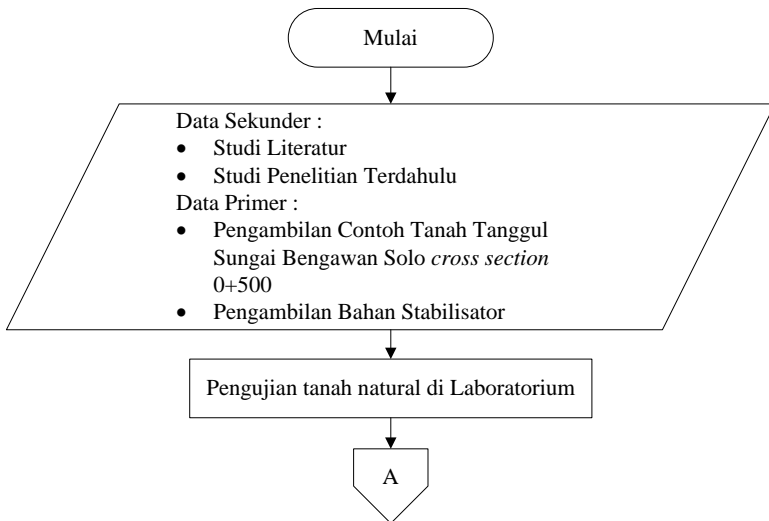
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Pendahuluan

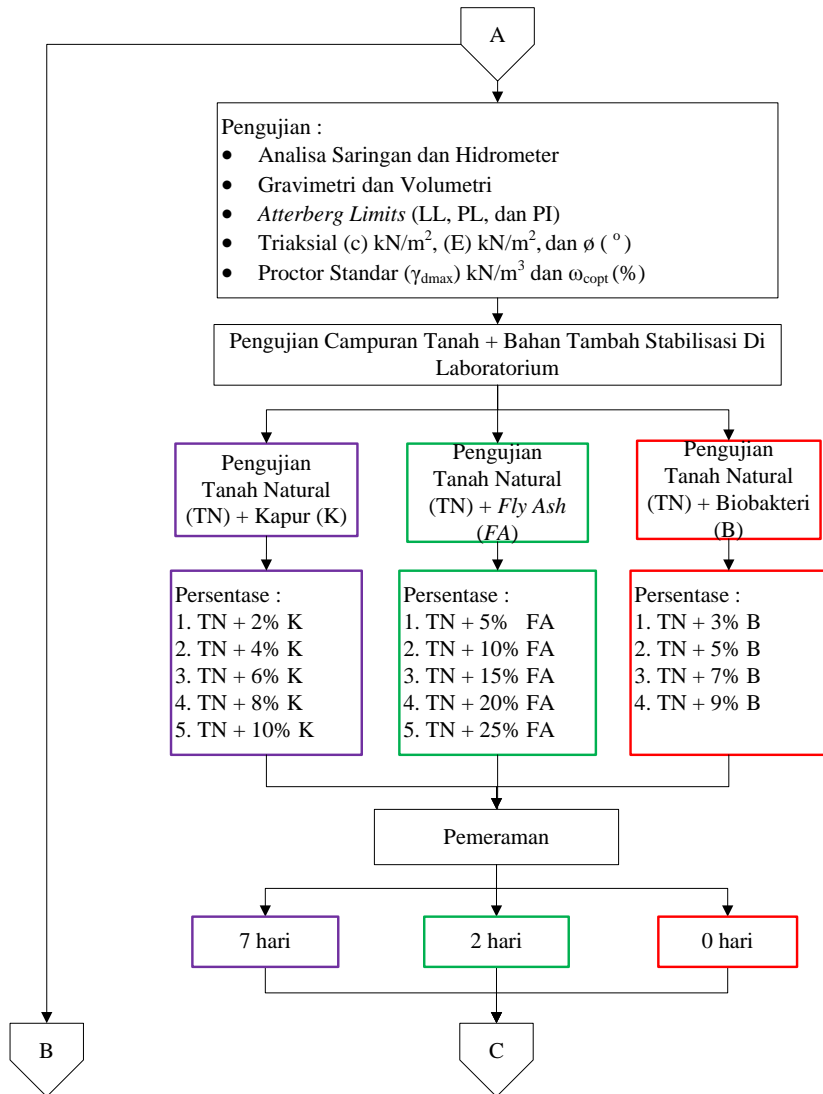
Penelitian tugas akhir ini dilakukan di laboratorium mekanika tanah menggunakan sampel tanah yang diambil dari tanggul sungai Bengawan Solo *cross section* 0+500 desa Semambung, Bojonegoro. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, mekanik, dan dinamik yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan dari tanah natural dan tanah yang dicampur dengan bahan tambah stabilisasi yaitu kapur, *fly ash*, dan mikro biobakteri.

### 3.2 Bagan Alir Penelitian

Tahapan penyelesaian tugas akhir ini dapat dilihat pada bagan alir di bawah ini.

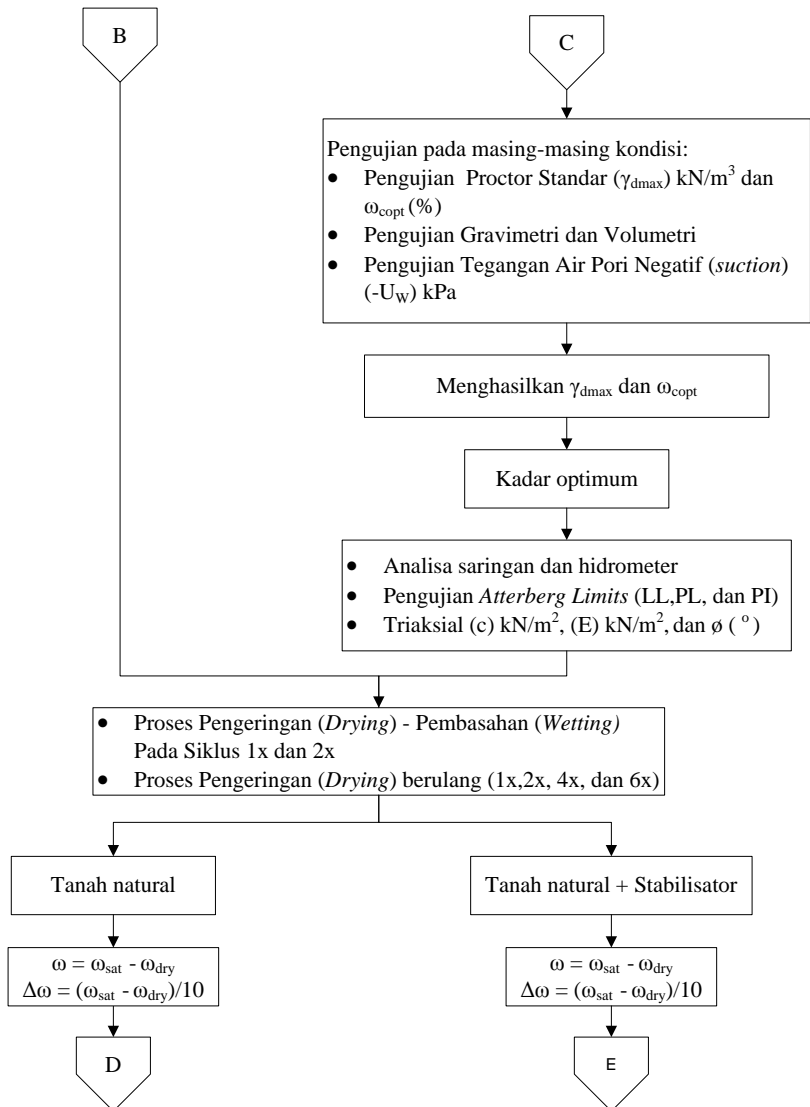


**Gambar 3.1.a** Bagan Alir Penelitian (*bersambung*)

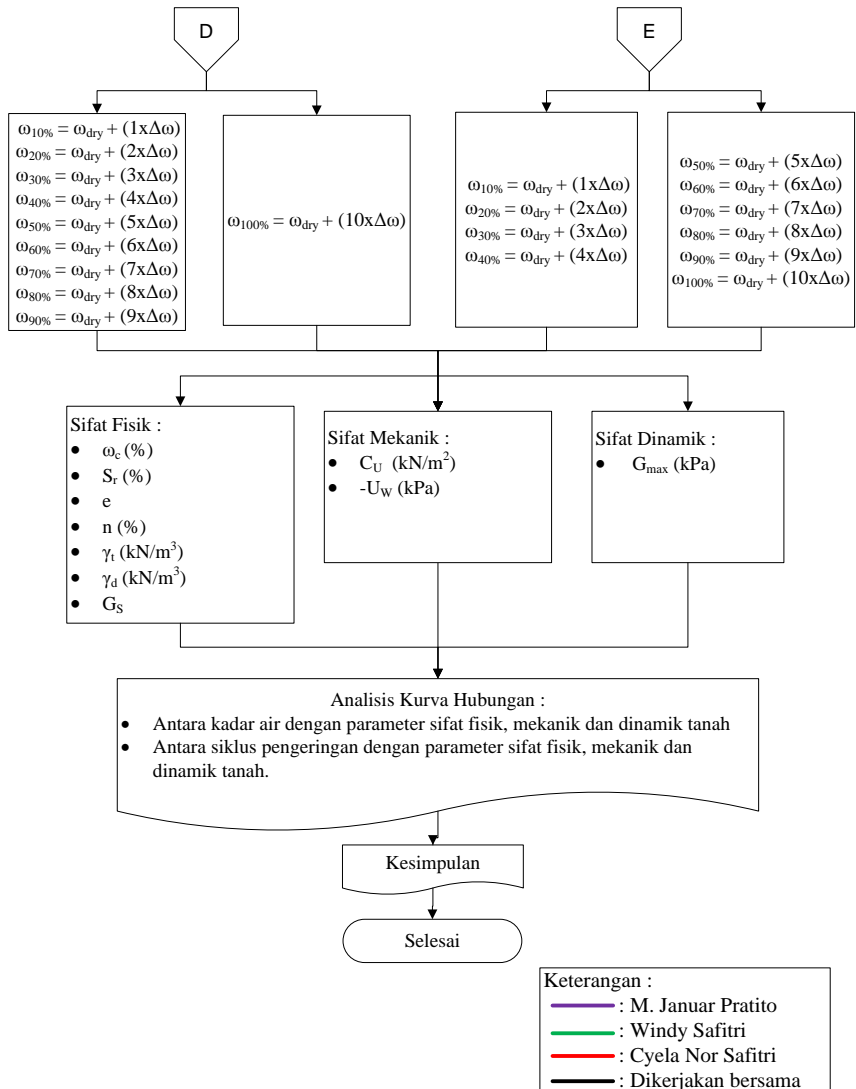


**Gambar 3.1.b** Bagan Alir Penelitian (*bersambung*)





**Gambar 3.1.c** Bagan Alir Penelitian (*bersambung*)



**Gambar 3.1.d** Bagan Alir Penelitian  
(Sumber : Penelitian, 2014)

### 3.3 Tahapan Awal Penelitian

Tahapan awal dari penyelesaian tugas akhir ini adalah studi penelitian terdahulu tentang penelitian yang akan dikerjakan yaitu mencari informasi yang berkaitan dengan tanggul sungai dan bahan stabilisator yang digunakan yaitu kapur, *fly ash*, dan mikro biobakteri.

### 3.4 Tahapan Pengambilan Sampel di Lapangan

Pengambilan sampel di lapangan adalah pengambilan sampel tanah dan pengambilan bahan tambah stabilisator yang digunakan. Sampel tanah yang diambil itu sendiri adalah tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) dan tanah terganggu (*disturbed sample*) yang diambil dari sungai Bengawan Solo *cross section* 0+500 desa Semambung, Bojonegoro.

### 3.5 Persiapan Benda Uji

Benda uji berupa sampel tanah natural dan tanah yang dicampur dengan bahan stabilisator. Banyak dan bentuk benda uji disesuaikan dengan pengujian-pengujian yang akan dilakukan.

#### 3.5.1 Benda Uji Tanah Natural

Benda uji berasal dari sampel tanah yang diambil dari sungai Bengawan Solo *cross section* 0+500 desa Semambung, Bojonegoro.

#### 3.5.2 Benda Uji Tanah Yang Ditambah Bahan Stabilisator

Pembuatan benda uji berdasarkan pada campuran tanah natural ditambah bahan stabilisator dengan persentase tertentu. Berikut adalah campuran tanah natural dan bahan stabilisator.

##### a. Tanah Natural dan Kapur

Persentase kapur yang digunakan mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Rianto, Fikryah, dan Laksito (2007). Persentase kapur yang ditambahkan adalah sebagai berikut:

- Tanah natural + 2 % kapur
- Tanah natural + 4 % kapur
- Tanah natural + 6 % kapur
- Tanah natural + 8 % kapur
- Tanah natural + 10 % kapur

b. Tanah Natural dan *Fly Ash*

Persentase *fly ash* yang digunakan mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Panjaitan (2000). Persentase *fly ash* yang ditambahkan adalah sebagai berikut:

- Tanah natural + 5 % *fly ash*
- Tanah natural + 10 % *fly ash*
- Tanah natural + 15 % *fly ash*
- Tanah natural + 20 % *fly ash*
- Tanah natural + 25 % *fly ash*

c. Tanah Natural dan Mikro biobakteri

Persentase mikro biobakteri yang digunakan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh PT. Bangun Mukti Abadi. Persentase mikro biobakteri yang ditambahkan adalah sebagai berikut:

- Tanah natural + 3 % biobakteri
- Tanah natural + 5 % biobakteri
- Tanah natural + 7 % biobakteri
- Tanah natural + 9 % biobakteri

Dari setiap bahan stabilisator diatas digunakan persentase stabilisator yang menghasilkan  $\gamma_{dmax}$  (*maximum dry density*, MDD) dan  $\omega_{opt}$  (*optimum moisture content*, OMC) dari uji Proctor Standar. Kemudian campuran tanah ditambah persentase optimum tiap stabilisator digunakan untuk pembuatan benda uji saat proses *drying-wetting*.

### 3.6 Tahapan Pengujian Sifat-Sifat Tanah

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

### 3.6.1. Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat-sifat fisik dilakukan pada tanah natural dan tanah yang ditambah bahan stabilisator dengan menggunakan alat uji standar di laboratorium Teknik Sipil. Pengujian sifat fisik tanah meliputi :

#### a. Uji *Specific Gravity*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (*specific gravity*) dari suatu contoh tanah. Acuan standar yang digunakan pada pengujian berat jenis tanah ini adalah ASTM D 854-72. Nilai *specific gravity* ( $G_s$ ) yang diperoleh akan membantu dalam mengklasifikasikan tanah yang diuji.

#### b. Uji Kadar Air ( *Water Content* )

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar air ( $\omega_c$ ) sampel tanah. Acuan standar yang digunakan pada pengujian kadar air tanah ini adalah ASTM D 2216-71.

#### c. Uji *Atterberg Limit*

Acuan standar yang digunakan pada pengujian *Atterberg Limits* ini adalah ASTM D 4318-89. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan harga dari batas-batas konsistensi tanah. Batas-batas konsistensi tersebut adalah :

- Batas Cair (*Liquid Limits*)

Merupakan kondisi kadar air dimana ketika suatu tanah berubah dari keadaan cair ke keadaan padat. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D 432-66.

- Batas Plastis (*Plastic Limits*)

Merupakan kondisi kadar air minimum dimana ketika tanah masih dalam keadaan plastis. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D 424-74.

Dari nilai batas-batas tersebut dapat diketahui nilai Indeks Plastisitas yaitu nilai batas cair (LL) dikurangi nilai batas plastis (PL).

**d. Uji Analisa Saringan dan Hidrometer**

Acuan standar yang digunakan pada pengujian analisa saringan ASTM D 422-63 dan hidrometer ASTM D 1140-54. Kedua pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gradasi ukuran butiran tanah.

**3.6.2. Pengujian Sifat Mekanik Tanah**

Tanah natural dan tanah yang dicampur dengan bahan stabilisator diuji terhadap sifat-sifat mekanik tanahnya dengan menggunakan alat uji standar di laboratorium Teknik Sipil. Pengujian sifat mekanik tanah meliputi :

**a. Triaksial**

Pengujian triaksial dilakukan pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Benda uji triaksial berbentuk silinder yang dibungkus membran karet dan diletakkan di dalam sebuah bejana silinder yang diisi air atau larutan gliserin. Di dalam bejana tersebut benda uji akan mengalami tekanan hidrostatik. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ), modulus elastisitas (E), dan nilai kohesi tanah (c) yang mana kohesi adalah gaya tarik menarik antara molekul yang sama jenisnya. Pengujian ini mengacu pada standar uji ASTM D 3080-72 dengan menggunakan triaksial tipe *Unconsolidated Undrained* (UU).

**b. *Unconfined Compressive Strength* (UCS)**

Pengujian *Unconfined Compressive Strength* dilakukan pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi yang mengalami proses pengeringan dan pembasahan. Pengujian

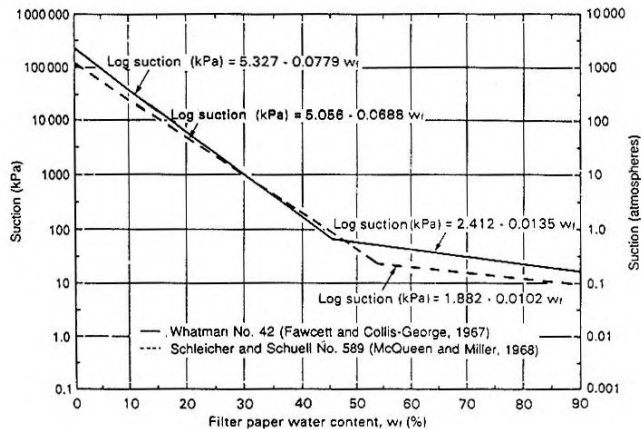
ini bertujuan untuk mengetahui nilai kohesi ( $C_u$ ) tanah. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D – 2166 – 66.

**c. Proctor Standar**

Pengujian pemadatan dengan Proctor Standar dilakukan pada tanah naturl dan tanah yang ditambah bahan stabilisator untuk mendapatkan kurva pemadatan, yaitu hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dan berat volume kering tanah ( $\gamma_d$ ). Pengujian ini menggunakan acuan standar ASTM D 698-70. Berdasarkan kurva pemadatan tersebut dapat ditentukan harga  $\gamma_{dmax}$  (*maximum dry density*, MDD) dan  $\omega_{copt}$  (*optimum moisture content*, OMC). Campuran tanah natural dan stabilisator dalam kondisi  $\omega_{copt}$  dan  $\gamma_{dmax}$  tersebut akan digunakan dalam pengujian *drying-wetting*.

**d. Tegangan Air Pori Negatif (*suction*)**

Pengukuran tegangan air pori negatif dilakukan pada proses pengeringan-pembasahan pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi yang berjumlah 2 sampel tiap titik pengujian. Pengujian ini ditentukan dengan menggunakan kurva kalibrasi kertas filter Whatman no. 42 dengan ukuran 1.50 cm x 1.50 cm, 1 diletakkan diantara 2 buah benda uji gravimetri-volumetri dan 1 lagi diantara 2 buah benda uji elemen bender. Tegangan air pori negatif ditentukan dengan menggunakan kurva kalibrasi kertas filter whatman no. 42 dari Fawcett dan Collis (1967), dengan terlebih dahulu menentukan kadar air kertas filter setelah kondisi keseimbangan tercapai, yaitu 4 hari. Kondisi keseimbangan tersebut didapatkan hasil uji coba di laboratorium. Kurva tersebut menggambarkan hubungan antara kadar air kertas filter dengan tegangan air pori negatif (Gambar 3.2). Atau, dengan menggunakan persamaan 3.1 dan 3.2 (Fawcett dan Collis, 1967), yaitu:



**Gambar 3.2** Kurva kalibrasi kertas filter jenis Whatman no. 42 dan jenis Schleicher dan Schuell no. 589 (Sumber: Fredlund dan Rahardjo, 1993)

$$\text{Log suction (kPa)} = 5,327 - 0,0779 \text{ wf} \dots\dots\dots (3.1)$$

untuk  $0\% \leq \text{wf} \leq 45\%$

$$\text{Log suction (kPa)} = 2,412 - 0,0135 \text{ wf} \dots\dots\dots (3.2)$$

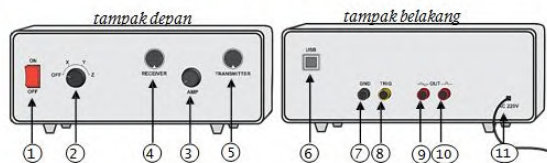
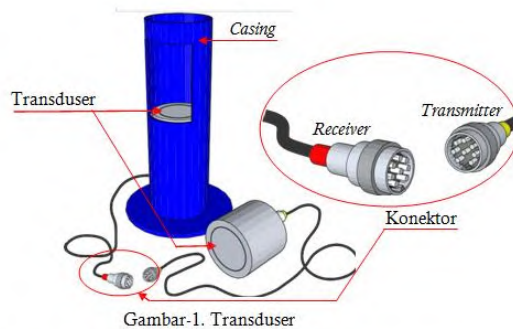
untuk  $\text{wf} \geq 45\%$

dengan: wf = kadar air kertas filter jenis Whatman no. 42

### 3.6.3. Pengujian Sifat Dinamik Tanah

Penelitian parameter dinamik menggunakan alat uji Elemen Bender (*Bender Element Test*) pada tanah natural dan tanah yang dicampur dengan bahan stabilisator yang mengalami proses *drying-wetting*. Spesifikasi benda uji untuk uji Elemen Bender adalah silinder berdiameter 4,91 cm dan tinggi 10,92 cm (Ladd 1978), akan tetapi karena keterbatasan kemampuan alat yang dimiliki maka dalam penelitian ini benda uji dibuat bentuk silinder berdiameter  $\pm 3,81$  cm dan tinggi  $\pm 3,00$  cm.





**Gambar 3.3** Alat Uji Elemen Bender  
(Sumber : Penelitian, 2014)

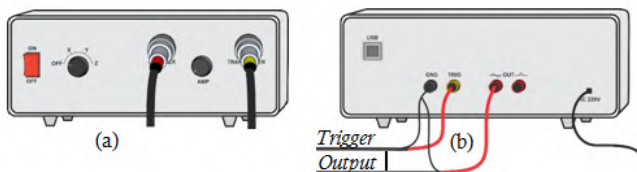
Secara garis besar alat uji elemen bender terdiri dari dua bagian yaitu bagian transduser dan bagian *electronic unit*. Bagian transduser terdiri dari *transmitter* (konektor warna kuning) dan *receiver* (konektor warna merah) bagian ini dilengkapi dengan *casing* untuk menahan transduser selama pengujian. Fitur pada panel *Electronic Unit* antara lain sebagai berikut:

- Power Switch*, saklar on/off.
- Selector XYZ*, digunakan untuk memilih mode gelombang yang dibangkitkan (X-Y-Z).
- Amplifier*, penguat sinyal gelombang yang diterima oleh *receiver*.
- Receiver Port*, digunakan sebagai penghubung *probe receiver*.
- Transmitter Port*, digunakan sebagai penghubung *probe transmitter*.
- USB Port*, digunakan untuk menghubungkan perangkat (*Electronic Unit*) ke PC.

- g. *Ground*, titik referensi tegangan untuk pengukuran waktu tempuh dengan osiloskop.
- h. *Trigger*, pengukuran sinyal yang dibangkitkan pada *transmitter*.
- i. *Output* sinusoid, sinyal keluaran asli dari *receiver* (sebelum di filter).
- j. *Output* digital, sinyal keluaran digital (hasil filter sinyal asli/sinusoid).
- k. *Power Source*, sumber daya untuk perangkat (AC 220V).

Berikut adalah proses pengujian parameter dinamik secara lengkap:

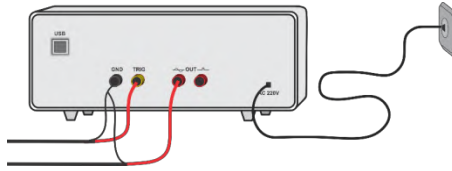
- a. Persiapan sampel uji, sampel dapat dibuat berbentuk silinder dengan diameter 3- 4 cm dan tinggi 3 -10 cm, usahakan permukaan alas dan atas sampel (yang akan ditempelkan pada transduser) memiliki permukaan yang rata.
- b. Hubungkan transduser pada panel depan *Electronic Unit* (lihat Gambar 3.4).



**Gambar 3.4** Hubungkan transduser pada panel depan *Electronic Unit*

(Sumber : Penelitian, 2014)

- c. Hubungkan *Probe Ossilloscope* pada panel belakang *Electronic Unit* (Gambar-3b).
- d. Kabel *Power Source* ke jaringan listrik AC 220V (Gambar 3.5).



**Gambar 3.5** Hubungkan perangkat ke jaringan listrik  
(Sumber : Penelitian, 2014)

- e. Nyalakan tombol *power Electronic Unit* dan juga osiloskop yang akan digunakan.
- f. Kalibrasi, kalibrasi dilakukan untuk memberikan koreksi pengukuran agar sesuai dengan nilai yang sebenarnya. Kalibrasi dilakukan dengan batang logam Aluminium, kemudian waktu tempuh gelombang pada batang aluminium diukur dengan alat uji *Bender Element*. Selisih nilai bacaan sampel yang diuji dengan bacaan pada aluminium digunakan sebagai koreksi pengukuran sampel berikutnya.



(a)



(b)

**Gambar 3.6** (a) Kalibrasi (c) Bacaan gelombang pada osiloskop  
(Sumber : Penelitian, 2014)

- g. Kalibrasi dilakukan untuk setiap mode gelombang X, Y, dan Z (pemilihan mode dilakukan dengan merubah posisi *selector XYZ*).

- h. Benda uji yang telah dikondisikan kemudian diberi *sono gelly* pada kedua ujungnya. Oleskan *sono gelly* setipis-tipisnya pada permukaan tanah sampai permukaan tanah benar-benar rata (tebal  $\pm 1$  mm). Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya rongga antara alat dan permukaan tanah.



**Gambar 3.7** Posisi Benda Uji Dalam Proses Pengujian  
(Sumber : Penelitian, 2014)

- i. Letakkan benda uji diatas sensor penerima gelombang geser. Kemudian pasang sensor penerima gelombang di atas benda uji.

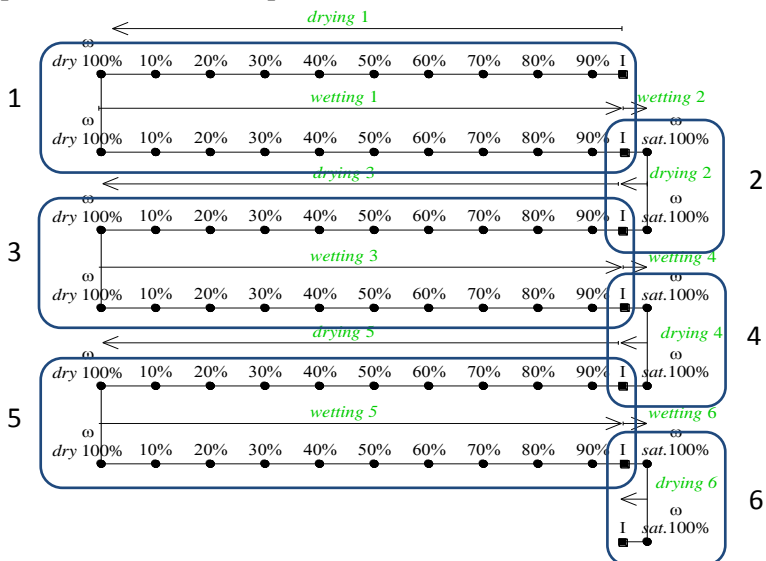


**Gambar 3.8** Posisi Benda Uji Dalam Proses Pengujian  
(Sumber : Penelitian, 2014)

- j. Setelah benda uji diletakkan pada posisi yang benar dan alat telah diatur dengan sempurna, lakukan pengukuran perambatan gelombang geser. Waktu tempuh gelombang geser dapat di baca di layar *oscilloscope*. Dengan mengetahui waktu tempuh ( $\Delta t$ ), maka kecepatan rambat gelombang pada benda uji dapat ditentukan, selanjutnya modulus geser ( $G_{max}$ ) dapat dihitung.

### 3.7 Proses Pengeringan (*Drying*) dan Pembasahan (*Wetting*)

Benda uji yang diuji pada proses pengeringan-pembasahan adalah tanah natural dan tanah yang ditambah dengan bahan stabilisator dengan kadar optimum hasil Proctor standar. Untuk tanah natural digunakan tanah tidak terganggu (*undisturbed*) sedangkan untuk tanah yang dicampur bahan stabilisator digunakan tanah terganggu (*disturbed*). Pengujian ini dilakukan secara bertahap berdasarkan persentase pengurangan dan penambahan kadar air pada siklus ke- 1, 2, 4, dan 6.



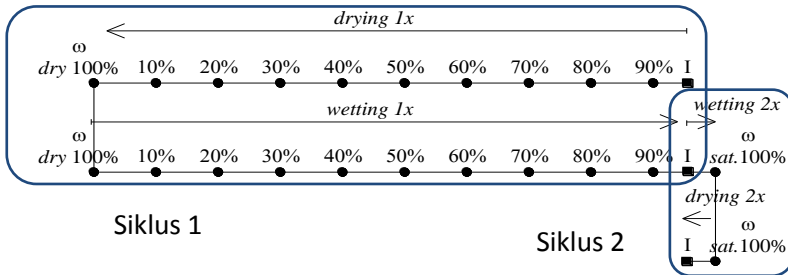
**Gambar 3.9** Skema siklus pengeringan dan pembasahan  
(Sumber: Penelitian, 2014)

Proses pengeringan- pembasahan kondisi inisial ( I ) pada tanah natural adalah tanah dengan kadar air  $\omega_i$  sedangkan pada tanah yang ditambah bahan stabilisator adalah tanah yang ditambah bahan stabilisator dalam kondisi optimum ( $\omega_{\text{copt}}$ ) yang didapatkan dari uji Proctor Standar.

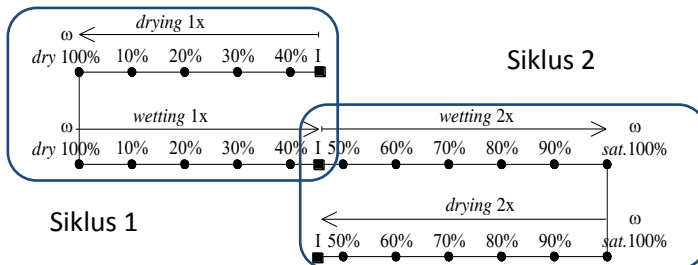
Pengkondisian pengurangan dan penambahan air ditentukan dari fungsi selisih antara kadar air jenuh ( $\omega_{\text{sat}}$ ) dengan kadar air kering 100% ( $\omega_{\text{dry100\%}}$ ) yang didapatkan dari pengeringan selama 7 hari kering udara dan 7 hari kering oven  $25^\circ \text{C}$  , perumusan dapat ditulis  $\omega_{\text{sat}} - \omega_{\text{dry100\%}}$  .

Pada proses pengeringan, benda uji pada kondisi inisial dikeringkan hingga mencapai kadar air *drying* 100% ( $\omega_{\text{dry100\%}}$ ). Sedangkan pada proses pembasahan, benda uji pada kondisi inisial dijenuhkan secara bertahap dengan penambahan air hingga mencapai kondisi jenuh ( $\omega_{\text{sat}}$ ). Ketika penambahan air sudah dilakukan benda uji didiamkan sampai mencapai titik kesetimbangan yaitu 4 hari. Titik kesetimbangan tersebut didapatkan dari uji coba di laboratorium.

Akan tetapi, saat pengujian di laboratorium terdapat kekeliruan pemahaman tentang skema *drying-wetting* dan pengujian sudah selesai dilakukan, agar dari hasil pengujian tetap dapat memperlihatkan pengaruh akibat siklus *drying-wetting* dan akibat bertambahnya proses yang diterapkan pada benda uji maka skema pada tugas akhir ini dibagi menjadi 2 skema. Skema tersebut yaitu siklus *drying-wetting* ke 1x dan 2x dan proses pengeringan berulang (pengeringan 1x, 2x, 4x, dan 6x). Dari kedua skema tersebut memperlihatkan perubahan nilai parameter sifat fisik, mekanik, dan dinamik akibat pengaruh pengeringan-pembasahan pada siklus 1x, 2x dan pengeringan berulang (pengeringan 1x, 2x, 4x, dan 6x).



**Gambar 3.10** Siklus pengeringan-pembasahan pada siklus ke 1x dan 2x tanah natural  
(Sumber: Penelitian, 2014)

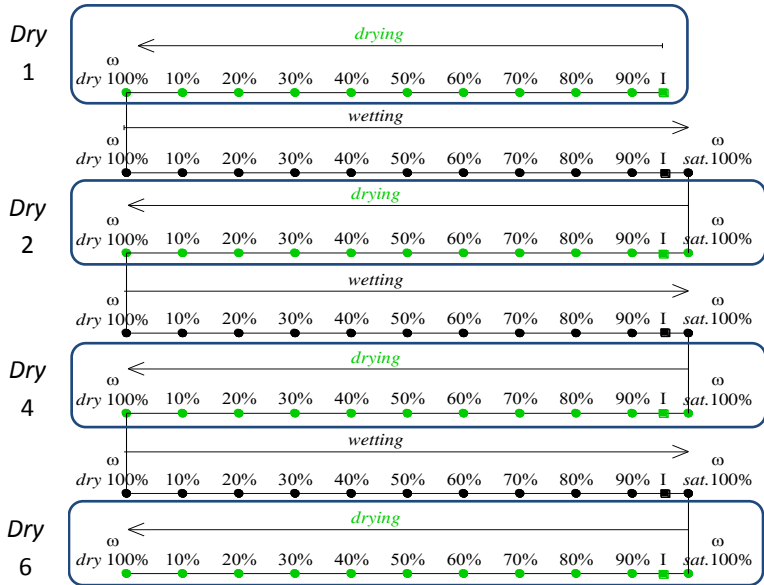


**Gambar 3.11** Siklus pengeringan-pembasahan pada siklus ke 1x dan 2x tanah natural + stabilisator  
(Sumber: Penelitian, 2014)

Gambar 3.10 dan 3.11 adalah skema proses pengeringan-pembasahan pada siklus 1x dan 2x pada tanah natural dan tanah yang ditambah bahan stabilisator. Siklus 1x adalah tanah pada titik inisial (I) dikeringkan sampai kondisi *dry* 100% kemudian dibasahkan secara bertahap sampai titik inisial (I). Siklus 2x adalah tanah yang dibasahkan secara bertahap dari titik inisial *wetting* 1x sampai kondisi jenuh 100% kemudian dikeringkan secara bertahap sampai titik inisial (I).

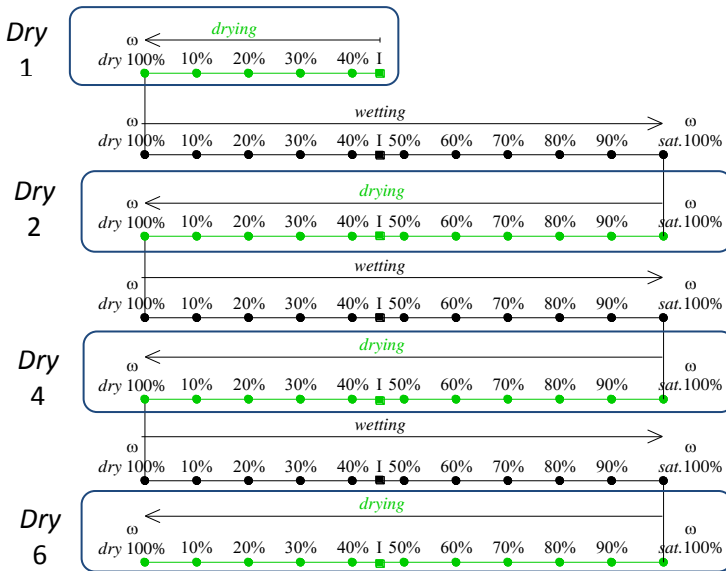
Setiap titik pada gambar 3.9 dan 3.10 dilakukan uji gravimetri-volumetri, tegangan air pori negatif, *Unconfined*

*Compression Strength*, dan *Bender Elemen Test*. Masing-masing pengujian berjumlah 2 sampel.



**Gambar 3.12** Skema pengeringan berulang tanah natural  
(Sumber: Penelitian, 2014)





**Gambar 3.13** Skema pengeringan berulang pada tanah + stabilisator  
(Sumber: Penelitian, 2014)

Gambar 3.12 dan 3.13 adalah skema proses pengeringan berulang yaitu pengeringan ke 1, 2, 4, dan 6 pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Pengujian yang diuji adalah benda uji pada pengeringan 1, 2, 4, dan 6 atau pada gambar yang berwarna hijau pada gambar 3.12 dan 3.13. Pengeringan 1x yaitu tanah pada titik inisial (I) dikeringkan sampai kondisi *dry* 100 %. Pengeringan 2x dilakukan setelah benda uji pada titik inisial (I) dikeringkan 100% kemudian dibasahkan secara bertahap sampai jenuh 100%, setelah itu dikeringkan sampai *dry* 100%. Untuk pengeringan 4 dan 6 sama seperti penjelasan diatas.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Penelitian dilakukan terhadap tanah tanggul sungai Bengawan Solo *cross section* 0+500 desa Semambung Bojonegoro, Jawa Timur. Penelitian tanah kami lakukan di laboratorium mekanika tanah Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya. Parameter-parameter tanah hasil pengujian yang dibahas meliputi: pengaruh pengeringan-pembasahan siklus 1x, 2x dan pengeringan berulang terhadap perubahan parameter fisik, mekanik, dan dinamik pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi dengan kapur, *fly ash*, dan mikro biobakteri. Perubahan sifat fisik yang terjadi akibat pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan yang akan dibahas terdiri dari: perubahan kadar air ( $\omega_c$ ), berat kering tanah ( $\gamma_d$ ), derajat kejenuhan ( $S_r$ ), dan angka pori ( $e$ ). Untuk sifat mekanik meliputi: kohesi ( $C_u$ ) dan tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ). Sedangkan sifat dinamik yang dibahas adalah modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ).

#### **4.1 Hasil Pengujian Tanah Natural**

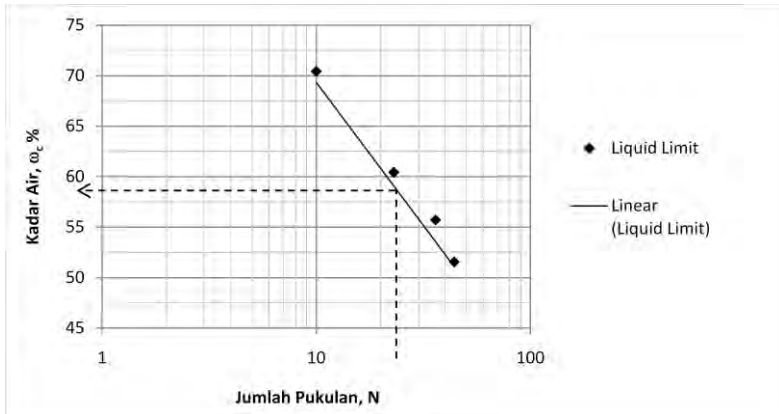
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

##### **4.1.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik**

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural.

##### **4.1.1.1 Hasil Pengujian *Atterberg Limits***

Pengujian *Atterberg limits* tanah natural terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.1.



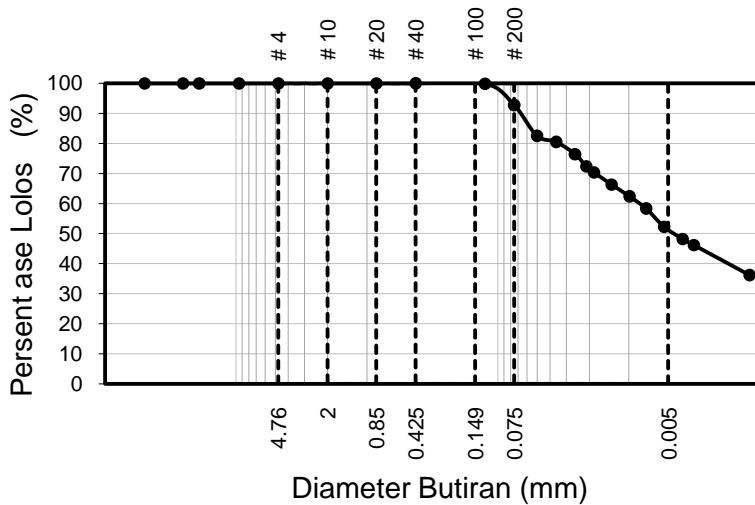
**Gambar 4.1** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.1 kadar air pada ketukan ke 25 adalah 57 %. Sedangkan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 25.958 %. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Sehingga hasil pengujian dari *Atterberg imits* tanah natural adalah sebagai berikut :

- LL = 57 %
- PL = 25.958 %
- PI = 31.042 %

#### 4.1.1.2 Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tanah natural dapat dilihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butiran diatas didapat persentase masing-masing fraksi tanah yaitu :

- Kerikil (*gravel*) = 0 %
- Pasir (*sand*) = 7.31 %
- Lanau (*silt*) = 56.487 %
- Lempung (*clay*) = 36.203 %

#### 4.1.1.3 Klasifikasi Tanah

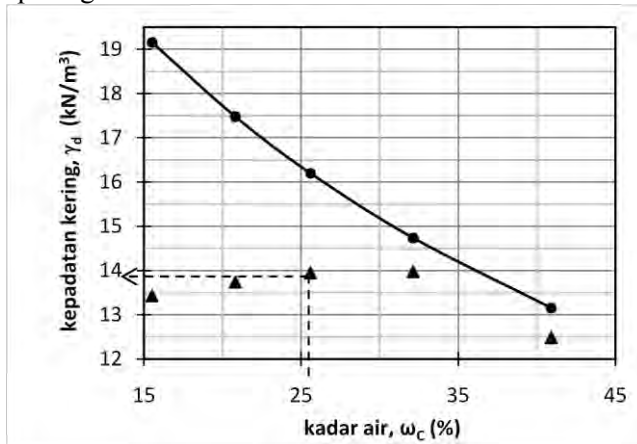
Berdasarkan sifat-sifat fisik diatas, menurut USCS tanah natural termasuk ke dalam kelompok tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-7-6

#### 4.1.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika diberi beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural.

##### 4.1.2.1 Hasil Pengujian Proctor Standar

Hasil pengujian Proctor standar dari tanah natural dapat dilihat pada gambar 4.3.

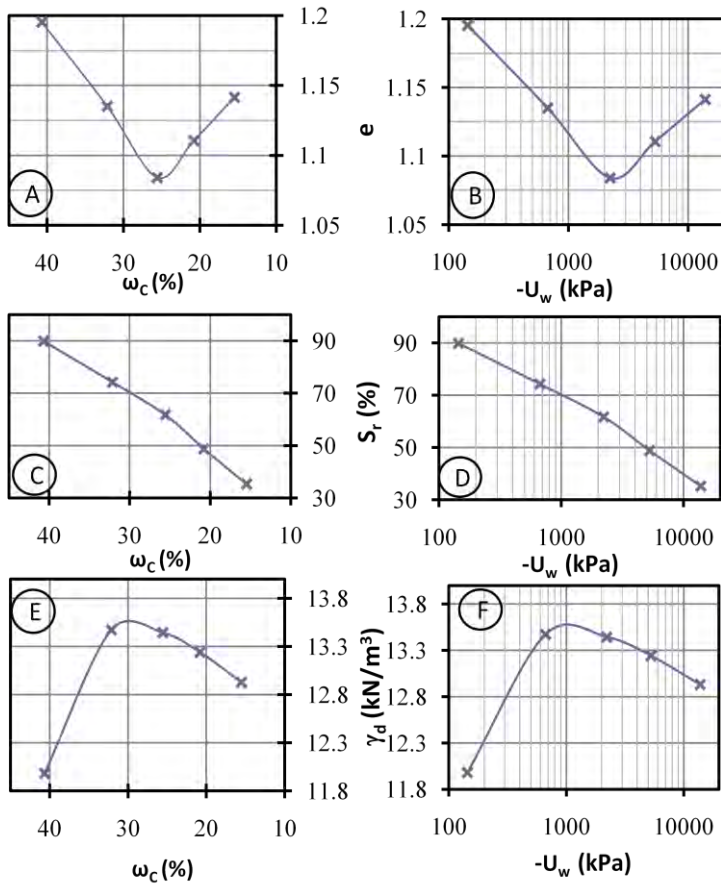


**Gambar 4.3** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan grafik pemadatan tanah natural diatas didapat nilai kepadatan kering maksimum sebesar 13.45  $\text{kN/m}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 26%.

##### 4.1.2.2 Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural.



Tanah Natural :  $\gamma_{d \text{ maks}}$  = 13.45 kN/m<sup>3</sup>,  
 $\omega_{c \text{ opt}}$  = 26 %

**Gambar 4.4** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural  
 (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **A. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.4A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural. Tampak bahwa nilai angka pori seiring bertambahnya kadar air semakin mengecil nilai angka porinya. Sampai kadar air optimum yaitu 26 % nilai angka pori memiliki nilai paling kecil yaitu sebesar 1.084. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut rongga pada tanah paling kecil sehingga kepadatan tanah paling maksimum. Setelah kondisi kepadatan tanah mencapai maksimum, jika kadar air terus bertambah maka angka nilai angka pori semakin meningkat.

#### **B. Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.4B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural. Terlihat bahwa semakin kadar air bertambah semakin kecil nilai angka porinya sehingga nilai tegangan air pori negatif semakin meningkat sampai pada nilai angka pori paling kecil yaitu sebesar 1.084 nilai tegangan air pori negatifnya 2217.531 kPa. Hal ini disebabkan karena jika angka pori semakin kecil maka kadar air kertas filter whatman akan semakin kecil, semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya. Setelah mencapai kepadatan maksimum nilai tegangan air pori negatif terus menurun. Hal ini disebabkan karena kadar air kertas whatman semakin besar karena nilai angka pori yang semakin meningkat.

#### **C. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.4C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kadar air dengan derajat kejenuhan berbanding lurus, yaitu semakin besar kadar air semakin meningkat derajat kejenuhannya. Hal ini disebabkan tanah mengembang saat kadar air bertambah sehingga volume air membesar. Dimana derajat



kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga nilai derajat kejenuhan pun ikut membesar. Sebaliknya derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil.

#### **D. Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.4D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin kecil tegangan air pori negatif semakin besar derajat kejenuhannya. Hal ini disebabkan kadar air tanah yang terus bertambah menyebabkan nilai derajat kejenuhan meningkat dan kadar air kertas whatman meningkat sehingga semakin kecil nilai tegangan air pori negatifnya.

#### **E. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.4E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural. Tampak bahwa seiring bertambahnya kadar air semakin besar nilai kepadatan kering sampai kadar air optimum yaitu 26 % nilai kepadatan kering memiliki nilai paling besar yaitu sebesar  $13.45 \text{ kN/m}^3$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut rongga pada tanah paling kecil sehingga kepadatan tanah paling maksimum. Setelah kondisi kepadatan tanah mencapai maksimum, jika kadar air terus bertambah maka nilai kepadatan kering semakin menurun.

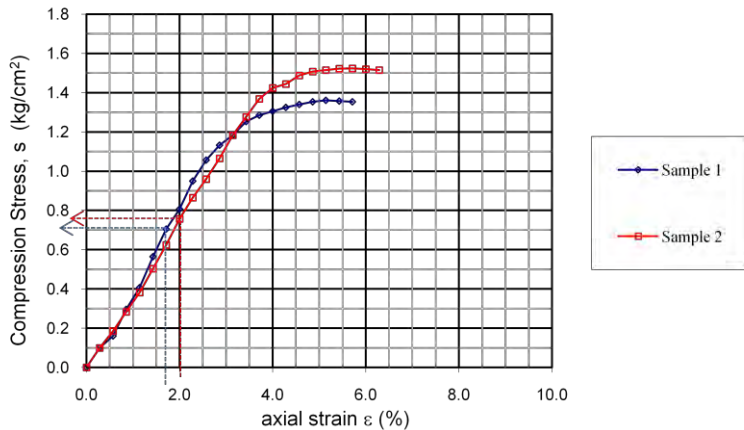
#### **F. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.4F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural. Tampak bahwa besarnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) akan bertambah jika kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) semakin naik. Hal ini

disebabkan karena jika tanah yang memiliki kepadatan kering yang tinggi kadar air pada kertas filter Whatman akan semakin mengecil karena air yang terserap lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang memiliki kepadatan yang kecil. Semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya. Pada kondisi puncak yaitu kepadatan kering maksimum  $13.45 \text{ kN/m}^3$  nilai tegangan air pori negatifnya sebesar  $2217.531 \text{ kPa}$ .

#### 4.1.2.3 Hasil Pengujian Triaksial

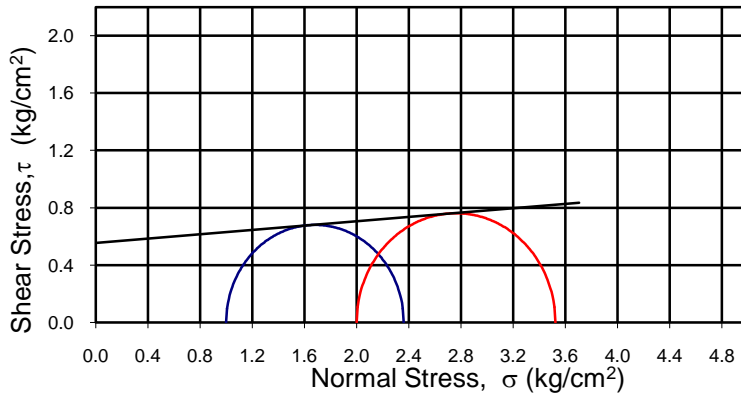
Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural.



**Gambar 4.5** Hubungan antara *compression stress* dan *axial strain* pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari gambar 4.5 didapat nilai modulus elastitistasnya adalah :

- $E_1 = 39.708 \text{ kg/cm}^2 = 3970.8 \text{ kN/m}^2$
- $E_2 = 38.109 \text{ kg/cm}^2 = 3810.86 \text{ kN/m}^2$



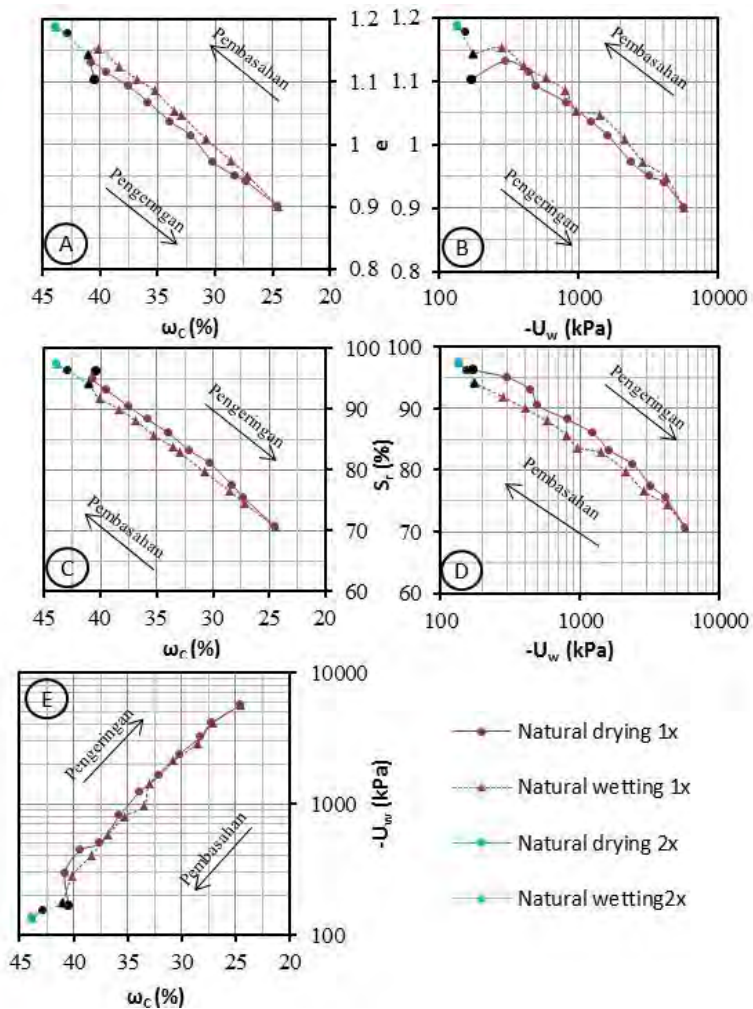
**Gambar 4.6** Hubungan antara *shear stress* dan *normal stress* pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari gambar 4.6 didapat nilai modulus elastitistasnya adalah :

- $\phi = 4.3^\circ$
- $c = 55.6 \text{ kg/cm}^2 = 5560 \text{ kN/m}^2$

#### 4.1.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{\max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dari siklus pengeringan-pembasaan pada siklus pertama dan kedua.



**Gambar 4.7** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.1.3.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.7A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural. Kurva tersebut menunjukkan akibat adanya proses pengeringan nilai angka pori tanah natural menurun sebesar 18.766 %. Hal ini disebabkan tanah mengalami penyusutan yang menyebabkan volume pori tanah mengecil sehingga angka pori ikut mengecil. Sebaliknya, saat kadar air bertambah (*wetting*) nilai angka pori meningkat sebesar 3.729 %. Hal ini disebabkan tanah mengembang menyebabkan volume pori membesar sehingga angka pori pun membesar juga.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai angka pori meningkat 6.796 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.1.3.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.7B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural. Kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin turun nilai angka pori nilai tegangan air pori negatif akan semakin naik. Peningkatan tegangan air pori negatif dipengaruhi oleh kadar air yang terserap oleh kertas filter whatman, semakin kecil angka pori semakin sedikit air yang terserap oleh kertas filter whatman. Kadar air kertas filter whatman juga dipengaruhi oleh kadar air tanahnya, kadar air tanah mengecil maka kadar air kertas filter whatman juga semakin kecil. Semakin kecil kadar air pada kertas filter whatman akan semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

#### **4.1.3.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.7C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural. Kurva tersebut menunjukkan pada proses bertambahnya kadar air dari kondisi

awal (*wetting*) nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 1.732 %. Hal ini disebabkan tanah mengembang saat kadar air bertambah sehingga volume air membesar. Dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga nilai derajat kejenuhan pun ikut membesar. Sebaliknya, jika kadar air semakin kecil nilai derajat kejenuhan menurun 26.927 %

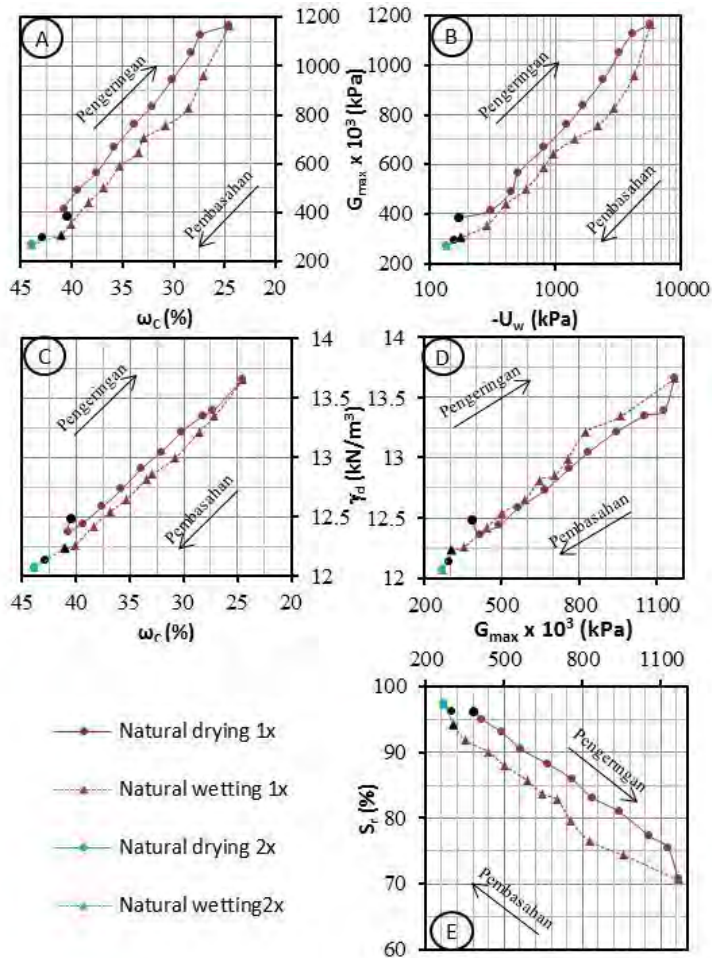
Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai derajat kejenuhan meningkat 0.051% dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.1.3.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.7D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin naik derajat kejenuhannya semakin turun tegangan air pori negatifnya (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin turun derajat kejenuhannya semakin naik tegangan air pori negatifnya (proses pengeringan).

#### **4.1.3.5 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.7E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural. Pada gambar tersebut terlihat bahwa akibat kadar air yang berkurang (proses pengeringan) nilai tegangan air pori negatif meningkat 3312,321 %. Akibat kadar air yang bertambah (proses pembasahan) nilai tegangan air pori negatif meningkat 137,735 %. Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai tegangan air pori negatif menurun 8.955 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.



**Gambar 4.8** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.1.3.6 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.8A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin naik kadar airnya (proses pembasahan) nilai modulus geser maksimum menurun 2,010 %. Sebaliknya semakin turun kadar airnya (proses pengeringan), nilai modulus geser maksimum meningkat 218,590%. Besarnya nilai modulus geser maksimum dipengaruhi oleh kecepatan rambat sinyal jika semakin cepat maka nilai modulus geser maksimum semakin besar.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai modulus geser maksimum menurun 22.88 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.1.3.7 Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.8B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan modulus geser berbanding lurus, yaitu semakin naik tegangan air pori negatifnya, modulus geser maksimumnya juga semakin naik (proses pengeringan) dan sebaliknya semakin turun tegangan air pori negatifnya, modulus geser maksimumnya juga semakin turun (proses pengeringan).

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai tegangan air pori negatif menurun 8.955 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 22.88 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.1.3.8 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.8C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah



natural. Kurva tersebut menunjukkan semakin kadar air bertambah (*wetting*) nilai kepadatan kering maksimum menurun sebesar 0,788 %. Hal ini disebabkan tanah mengembang dan rongga pori meningkat selama proses pembasahan sehingga kepadatan menurun. Pada saat kadar air berkurang (*drying*) nilai kepadatan kering meningkat 10,163 %. Hal ini disebabkan masa tanah semakin padat.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai kepadatan kering menurun 2.734 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

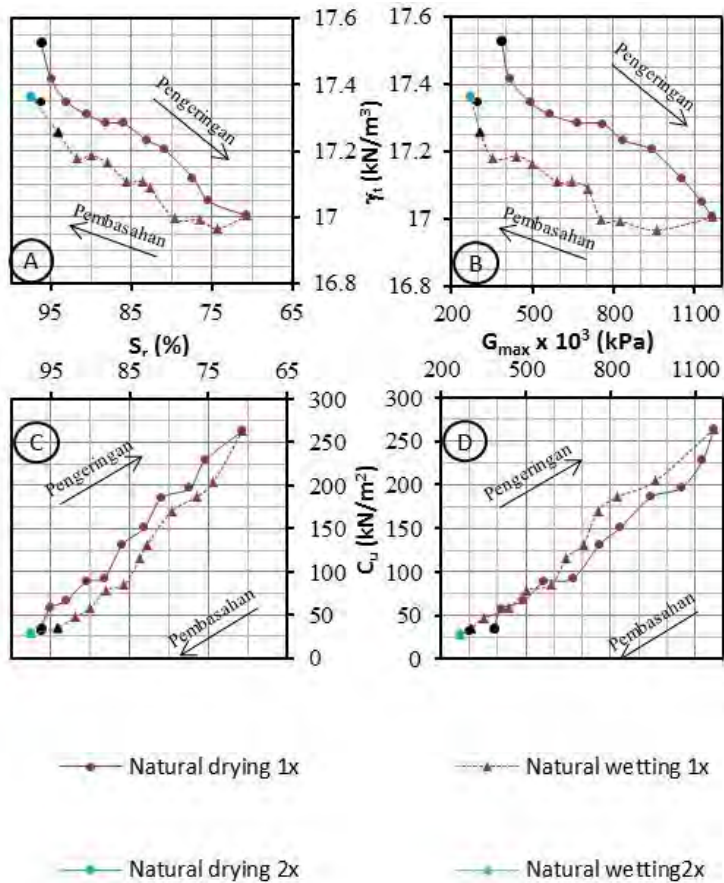
#### **4.1.3.9 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.8D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural. Semakin besar kepadatan kering semakin besar pula modulus geser maksimumnya (proses pengeringan) dan sebaliknya semakin kecil kepadatan kering semakin kecil pula modulus geser maksimumnya (proses pembasahan).

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai kepadatan kering menurun 2.734 % dan modulus geser maksimum menurun 22.88 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.1.3.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.8E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural. Dari kurva tersebut terlihat bahwa kepadatan kering dengan modulus geser maksimum berbanding terbalik. Semakin besar nilai derajat kejenuhan semakin kecil modulus geser maksimumnya (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin kecil nilai derajat kejenuhan semakin besar nilai modulus geser maksimumnya (proses pengeringan).



**Gambar 4.9** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.1.3.11 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.9A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural. Kurva tersebut menunjukkan semakin berat volume tanah dan modulus geser maksimum berbanding terbalik, yaitu semakin naik berat volume tanah maka derajat kejenuhan cenderung semakin meningkat (proses pembasahan). Peningkatan berat volume tanah karena kadar air yang bertambah berarti berat air bertambah sehingga berat dan volume tanah pun bertambah. Dimana berat volume tanah adalah perbandingan antara berat tanah dengan volume tanah ( $\gamma_t = W/V$ ), maka dengan bertambahnya berat dan volume tanah menyebabkan berat volume tanah pun meningkat. Seiring meningkatnya berat volume tanah derajat kejenuhan pun meningkat. Hal ini disebabkan kadar air yang bertambah menyebabkan volume air dan volume pori bertambah. Dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ), maka dengan bertambahnya volume air dan volume pori menyebabkan nilai derajat kejenuhan pun ikut bertambah. Akibat proses pembasahan nilai derajat kejenuhan meningkat 1.732 % dan berat volume tanah menurun 0,495 %. Sebaliknya nilai berat volume tanah dan derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil (proses pengeringan). Akibat proses pengeringan nilai derajat kejenuhan menurun 26.927 % dan berat volume tanah menurun 2,847 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai berat volume tanah menurun 1.03 % dan nilai derajat kejenuhan meningkat 0.051 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.1.3.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.9B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah untuk tanah natural. Kurva tersebut menunjukkan berat volume tanah dan modulus

geser maksimum berbanding terbalik, yaitu semakin turun berat volume tanah maka modulus geser maksimum cenderung semakin meningkat (proses pengeringan). Hal ini disebabkan berat air yang bertambah sehingga tanah menyusut menyebabkan berat tanah basah, volume tanah, dan ruang pori menurun. Ruang pori yang menurun menyebabkan struktur tanah menjadi lebih rapat dan padat. Struktur tanah yang rapat dan padat menyebabkan cepat rambat sinyal lebih cepat, artinya waktu dibutuhkan untuk menghantarkan sinyal lebih sedikit. Akibat proses pengeringan nilai berat volume tanah menurun sebesar 2.847 % dan nilai modulus geser maksimum meningkat 218.59 %. Pada saat kadar air bertambah (*wetting*) nilai berat volume tanah meningkat sebesar 0.495 % dan nilai modulus geser maksimum meningkat 2.01 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai berat volume tanah menurun 1.03 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 22.88 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.1.3.13 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.9C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kohesi dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin naik derajat kejenuhannya maka kohesinya cenderung semakin turun (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin turun derajat kejenuhannya maka kohesinya cenderung semakin naik (proses pengeringan). Akibat proses pembasahan nilai derajat kejenuhan meningkat 1.732 % dan kohesi menurun 16.88 % sedangkan akibat proses pengeringan nilai derajat kejenuhan menurun 26.927 % dan kohesi meningkat 628.737 %

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai derajat kejenuhan meningkat 0.051 % dan nilai kohesi menurun 7.344 %

dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

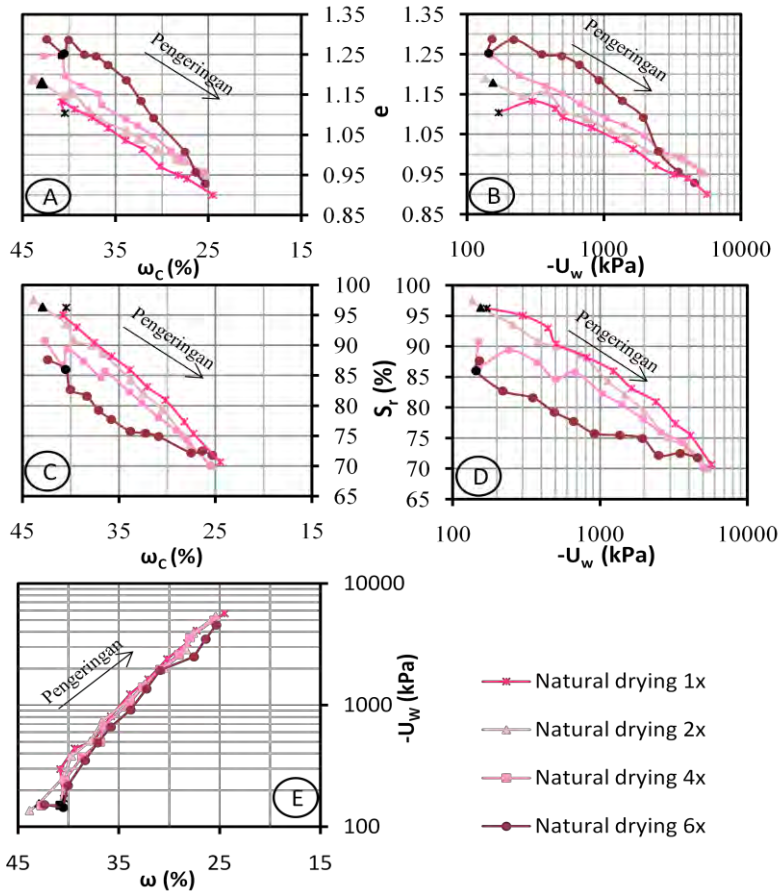
#### **4.1.3.14 Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.9D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural. Pada gambar tersebut terlihat bahwa modulus geser maksimum dengan kohesi berbanding lurus, yaitu semakin turun modulus geser maksimumnya maka kohesinya juga semakin turun (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin naik modulus geser maksimumnya maka kohesinya juga semakin naik (proses pengeringan). Akibat proses pembasahan nilai kohesi menurun 16.88 % dan modulus geser maksimum menurun 2.01 % sedangkan akibat proses pengeringan nilai modulus geser maksimum meningkat 628.737 % dan kohesi meningkat 218.59 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai modulus geser maksimum meningkat 0.051 % dan nilai kohesi menurun 7.344 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.1.4 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang pada Siklus 1x, 2x, 4x dan 6x**

Seiring penambahan proses pengeringan (pengeringan berulang) yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.10, 4.11, dan 4.12.



**Gambar 4.10** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.1.4.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.10A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan jumlah proses pengeringan mengakibatkan nilai angka pori tanah natural membesar berarti ruang porinya bertambah banyak. Akibat proses pengeringan berulang nilai angka pori pada tanah natural meningkat 10.669 %. Hal ini membuktikan akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan angka pori meningkat dari kondisi semula. Peningkatan angka pori disebabkan oleh molekul dalam tanahnya semakin renggang.

#### **4.1.4.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.10B adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural nilai angka pori semakin membesar dan nilai tegangan air pori negatif menurun. Hal ini disebabkan karena angka pori yang besar menyebabkan kadar air kertas whatman membesar sehingga nilai tegangan air pori negatif akan kecil. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan air pori negatif pada tanah natural menurun 18.465 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.

#### **4.1.4.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.10C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural nilai derajat kejenuhan mengecil karena volume pori yang meningkat, dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan

antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ). Akibat volume pori yang meningkat nilai derajat kejenuhan menurun. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.88 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang

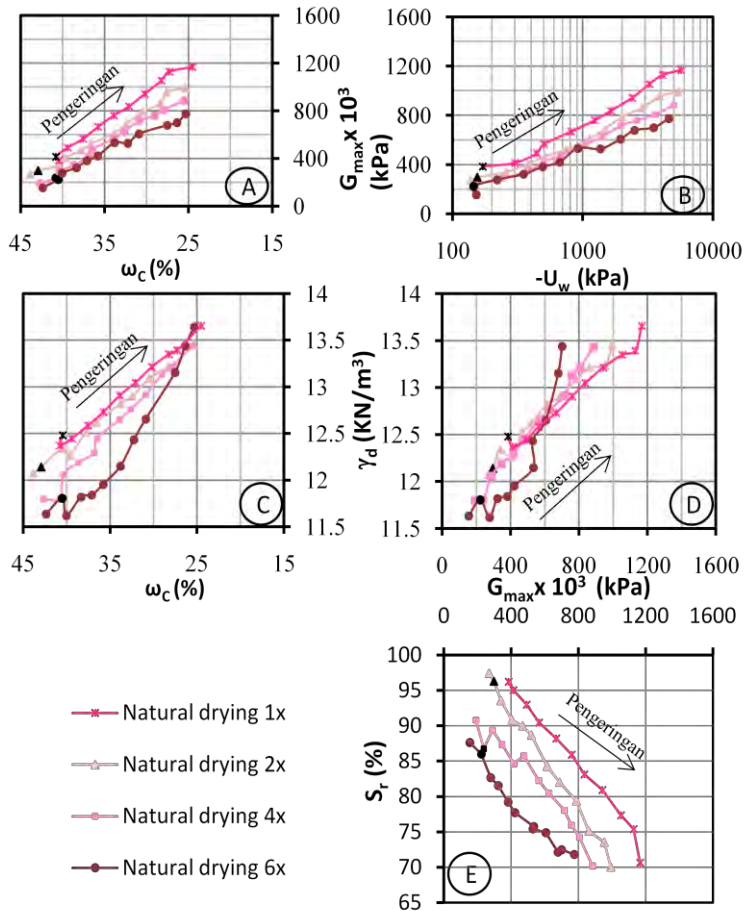
#### **4.1.4.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.10D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan pada tanah natural dengan tegangan air pori negatif (*suction*). Pada gambar terlihat bahwa semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan semakin turun. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.888 % dan nilai tegangan air pori negatif menurun 18.465 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.

#### **4.1.4.5 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.10E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dan tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif semakin turun dengan kadar air yang cenderung naik turun. Hal ini disebabkan karena seiring bertambahnya proses pengeringan nilai angka pori semakin membesar menyebabkan kadar air kertas whatman membesar sehingga nilai tegangan air pori negatif akan semakin kecil. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan air pori negatif menurun 18.465 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.





**Gambar 4.11** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural. (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.1.4.6 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.11A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural. Pada kurva tersebut menunjukkan akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Hal ini disebabkan proses yang berulang menyebabkan rongga pada tanah menjadi besar sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menghantarkan sinyal semakin lama atau lebih lambat sehingga menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai modulus geser maksimum menurun 35.318 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.

#### **4.1.4.7 Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.11B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural. Pada kurva tersebut terlihat bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin turun. Hal ini disebabkan oleh proses pengeringan yang berulang menyebabkan rongga pada tanah menjadi besar sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menghantarkan sinyal semakin banyak atau lebih lambat sehingga menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai modulus geser maksimum menurun 35.318 % dan nilai tegangan air pori negatif menurun 18.465 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.

#### **4.1.4.8 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.11C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kadar air terhadap kepadatan kering pada tanah natural. Kurva tersebut menunjukkan nilai kepadatan kering akan

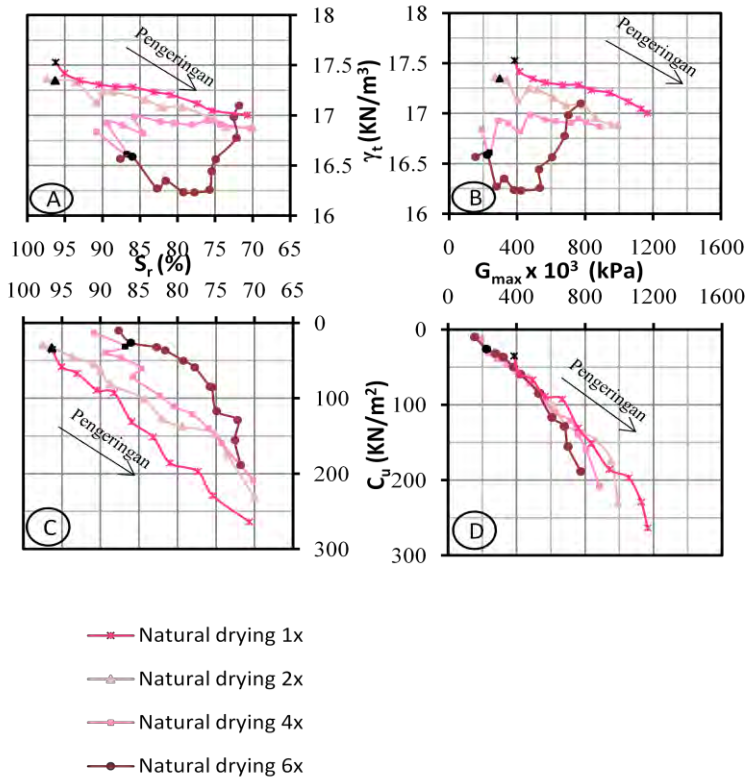
menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Hal ini disebabkan pengeringan yang berulang ruang pori membesar sehingga volume tanah membesar. Dengan demikian, karena definisi kepadatan kering adalah ( $\gamma_d = W_s/V$ ), bertambahnya volume total menyebabkan menurunnya kepadatan kering. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai kepadatan kering menurun 4.052 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.

#### **4.1.4.9 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.11D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural. Dari kurva tersebut terlihat bahwa akibat proses pengeringan yang berulang nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum mengalami penurunan. Hal ini disebabkan akibat pengeringan yang berulang nilai kepadatan kering menurun sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menghantarkan sinyal semakin lama atau lebih lambat sehingga menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai kepadatan kering menurun 4.052 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 35.318 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.

#### **4.1.4.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.11E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural. Dari kurva tersebut terlihat bahwa akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai derajat kejenuhan dan nilai modulus geser maksimum mengalami penurunan. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan menurun 8.88 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 35.318 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.



**Gambar 4.12** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.1.4.11 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.12A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah semakin turun. Penurunan nilai derajat kejenuhan disebabkan karena akibat berulangnya proses pengeringan volume pori semakin meningkat. Derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga pada volume air yang sama dan volume pori meningkat maka derajat kejenuhan akan menurun. Berat volume tanah adalah perbandingan antara berat tanah basah dengan volume total, sehingga volume total yang meningkat menyebabkan berat volume tanah akan menurun. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai berat volume tanah menurun 4.182 % dan nilai derajat kejenuhan menurun 8.88 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.

#### **4.1.4.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.12B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah semakin turun. Penurunan berat volume tanah mengakibatkan kerapatan dan kepadatan tanah menurun sehingga kecepatan rambat sinyal melambat sehingga nilai modulus geser maksimum menurun. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan menurun 8.88 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 35.318 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.

#### **4.1.4.13 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.12C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_U$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural. Pada gambar tersebut menunjukkan semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka derajat kejenuhan dan kohesi semakin turun. Hal ini terjadi karena proses pengeringan berulang menyebabkan adanya banyak rongga di dalam tanah, sehingga mengurangi kemampuan tarik menarik antara molekul yang sama (kohesi). Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan menurun 8.88 % dan nilai kohesi menurun 37.216 % dari kondisi awal akibat pengeringan berulang.

#### **4.1.4.14 Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.12D adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural. Pada gambar tersebut jika dilihat pada titik yang sama misalnya titik inisial, semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka modulus geser maksimum dan kohesi semakin turun. Hal ini terjadi karena proses pengeringan yang dilakukan secara berulang akan mengurangi kemampuan tarik menarik molekul yang sejenis (kohesi). Nilai kohesi yang semakin menurun menyebabkan cepat rambat sinyal melambat sehingga nilai modulus geser maksimum pun ikut menurun.

## 4.2 Hasil Pengujian Tanah Natural + Kapur

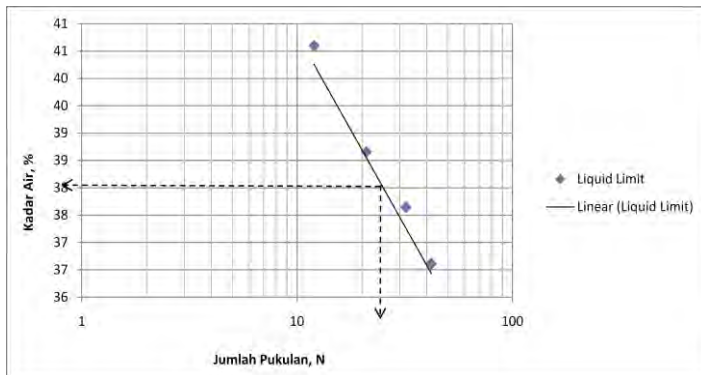
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural + 6% kapur yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

### 4.2.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural + 6% kapur.

#### 4.2.1.1 Hasil Pengujian *Atterberg Limits*

Pengujian *Atterberg limits* tanah natural + 6% kapur terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.13** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

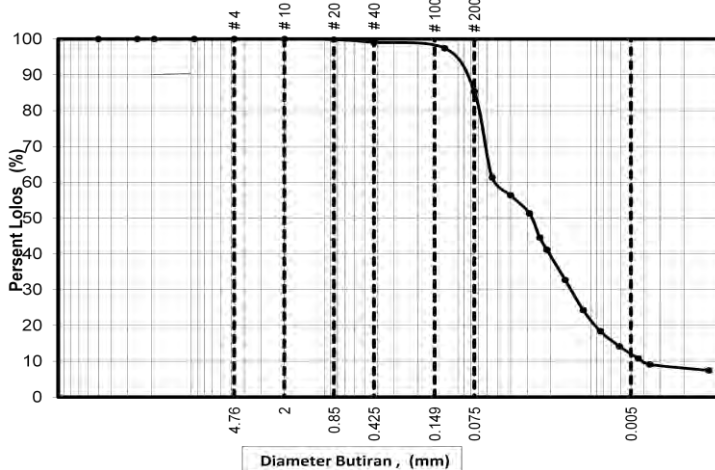
Berdasarkan gambar 4.13 kadar air pada ketukan ke 25 adalah 38 %. Sedangkan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 32.317 %. Nilai indeks plastisitas adalah

selisih dari batas cair dan batas plastis. Sehingga hasil pengujian dari *Atterberg imits* tanah natural + 6% kapur adalah sebagai berikut :

- LL = 38 %
- PL = 32.317 %
- PI = 5.683 %

#### 4.2.1.2 Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tanah natural + 6% kapur dapat dilihat pada gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butiran diatas didapat persentase masing-masing fraksi tanah yaitu :

- Kerikil (*gravel*) = 0 %
- Pasir (*sand*) = 14.668 %
- Lanau (*silt*) = 77.908 %
- Lempung (*clay*) = 7.424 %



#### 4.2.1.3 Klasifikasi Tanah

Berdasarkan sifat-sifat fisik diatas, menurut USCS tanah natural + 6% kapur termasuk ke dalam kelompok tanah lanau anorganik dengan plastisitas rendah (ML) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-4.

#### 4.2.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika dikenai beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural + 6% kapur.

##### 4.2.2.1 Hasil Pengujian Proctor Standar

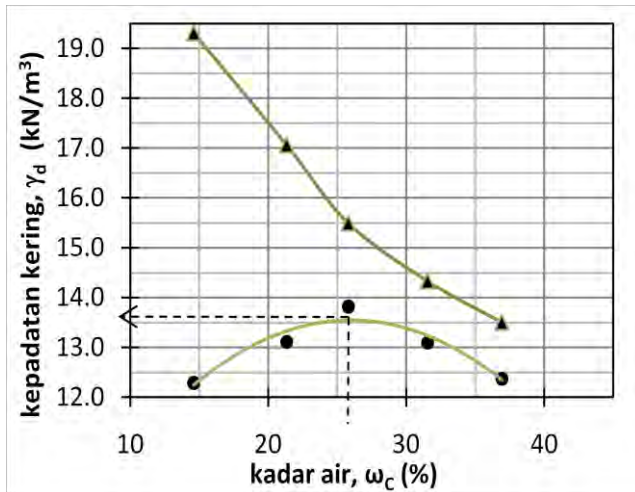
Hasil pengujian pemadatan terhadap tanah tanggul sungai Bengawan Solo yang dicampur dengan 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% kapur dengan masa pemeraman masing-masing selama 7 hari yang dipadatkan dengan pemadatan standar dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil pengujian pemadatan standar tanah + kapur

Kadar Kapur	$\gamma_d$ maks. (kN/m <sup>3</sup> )	$\omega_c$ opt. (%)
2 %	13.20	26
4 %	13.45	25
6 %	13.65	27
8 %	13.50	25
10 %	13.10	24

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

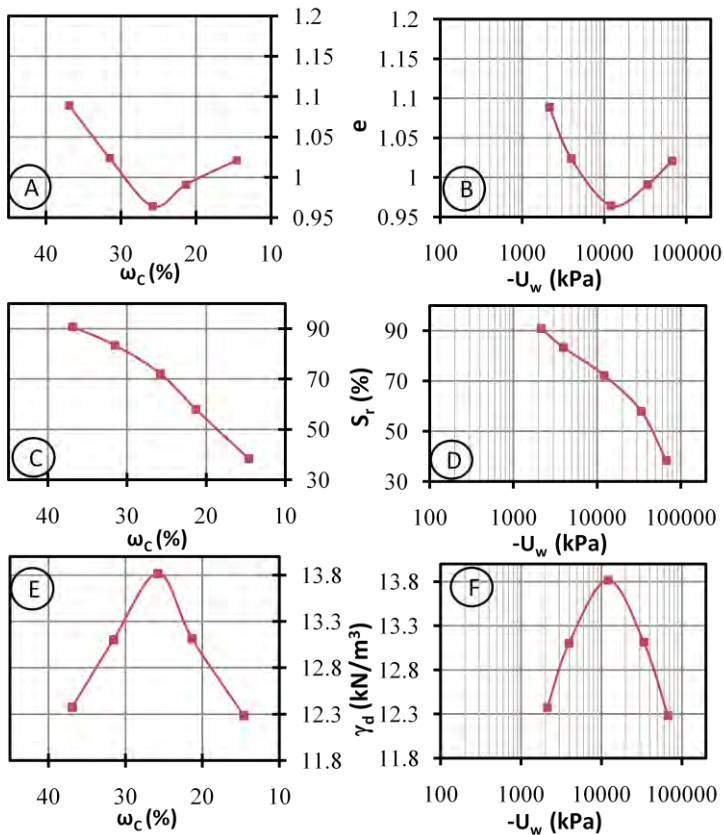
Dari tabel 4.2 dapat dilihat kadar kapur paling optimum yang digunakan adalah tanah natural + 6% kapur dengan nilai kepadatan maksimum sebesar 13.65 kN/m<sup>3</sup> dan nilai kadar air optimum sebesar 27%, dapat dilihat juga pada gambar 4.15.



**Gambar 4.15** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.2.2.2 Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural + 6% kapur

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural + 6% kapur.



Tanah Natural + 6% kapur :

$$\begin{aligned}\gamma_{d \text{ maks}} &= 13.65 \text{ kN/m}^3, \\ \omega_{c \text{ ont}} &= 27 \%\end{aligned}$$

**Gambar 4.16** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **A. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.16A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural + 6% kapur. Tampak bahwa nilai angka pori seiring bertambahnya kadar air semakin mengecil nilai angka porinya. Sampai kadar air optimum yaitu 27 % nilai angka pori memiliki nilai paling kecil yaitu sebesar 0.964. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut rongga pada tanah paling kecil sehingga kepadatan tanah paling maksimum.

#### **B. Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.16B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 6% kapur. Dalam gambar 4.5B ditunjukkan bahwa semakin kadar air bertambah semakin kecil nilai angka porinya sehingga nilai tegangan air pori negatif semakin meningkat sampai pada nilai angka pori paling kecil yaitu sebesar 0.964 nilai tegangan air pori negatifnya 12094.587 kPa. Hal ini disebabkan karena jika angka pori semakin kecil maka kadar air kertas filter whatman akan semakin kecil, semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

#### **C. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.16C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kadar air dengan derajat kejenuhan berbanding lurus, yaitu semakin besar kadar air semakin meningkat derajat kejenuhannya. hal ini disebabkan tanah mengembang saat kadar air bertambah sehingga volume air membesar. Dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga nilai derajat kejenuhan pun ikut membesar. Sebaliknya derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil.

#### **D. Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.16D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin kecil tegangan air pori negatif semakin besar derajat kejenuhannya. Hal ini disebabkan kadar air tanah yang terus bertambah menyebabkan nilai derajat kejenuhan meningkat dan kadar air kertas whatman meningkat sehingga semakin kecil nilai tegangan air pori negatifnya.

#### **E. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.16E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural + 6% kapur. Tampak bahwa seiring bertambahnya kadar air semakin besar nilai kepadatan kering sampai kadar air optimum yaitu 27 % nilai kepadatan kering memiliki nilai paling besar yaitu sebesar  $13.65 \text{ kN/m}^3$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut rongga pada tanah paling kecil sehingga kepadatan tanah paling maksimum. Setelah kondisi kepadatan tanah mencapai maksimum, jika kadar air terus bertambah maka nilai kepadatan kering semakin menurun.

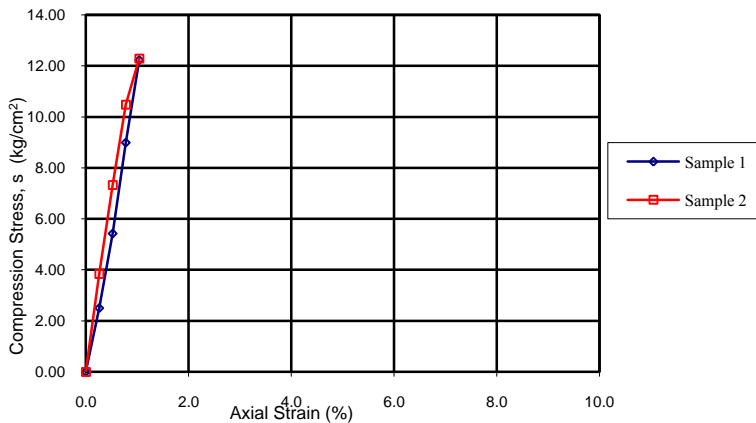
#### **F. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.16F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural + 6% kapur. Tampak bahwa besarnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) akan bertambah jika kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) semakin naik. Hal ini disebabkan karena jika tanah yang memiliki kepadatan kering yang tinggi kadar air pada kertas filter Whatman akan semakin mengecil karena air yang terserap lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang memiliki kepadatan yang kecil. Semakin kecil

kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya. Pada kondisi puncak yaitu kepadatan kering maksimum  $13.65 \text{ kN/m}^3$  nilai tegangan air pori negatifnya sebesar  $12094.587 \text{ kPa}$ .

#### 4.2.2.3 Hasil Pengujian Triaksial

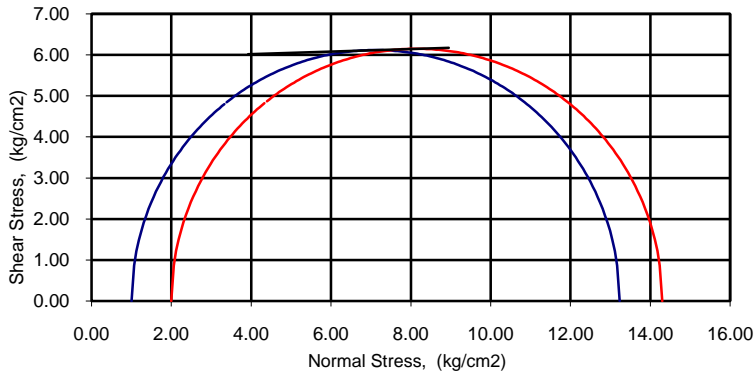
Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural + 6% kapur.



**Gambar 4.17** Hubungan antara *compression stress* dan *axial strain* pada tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari gambar 4.17 didapat nilai modulus elastitistasnya adalah :

- $E_1 = 1117.120 \text{ kg/cm}^2 = 111712 \text{ kN/m}^2$
- $E_2 = 1183.494 \text{ kg/cm}^2 = 118349.4 \text{ kN/m}^2$



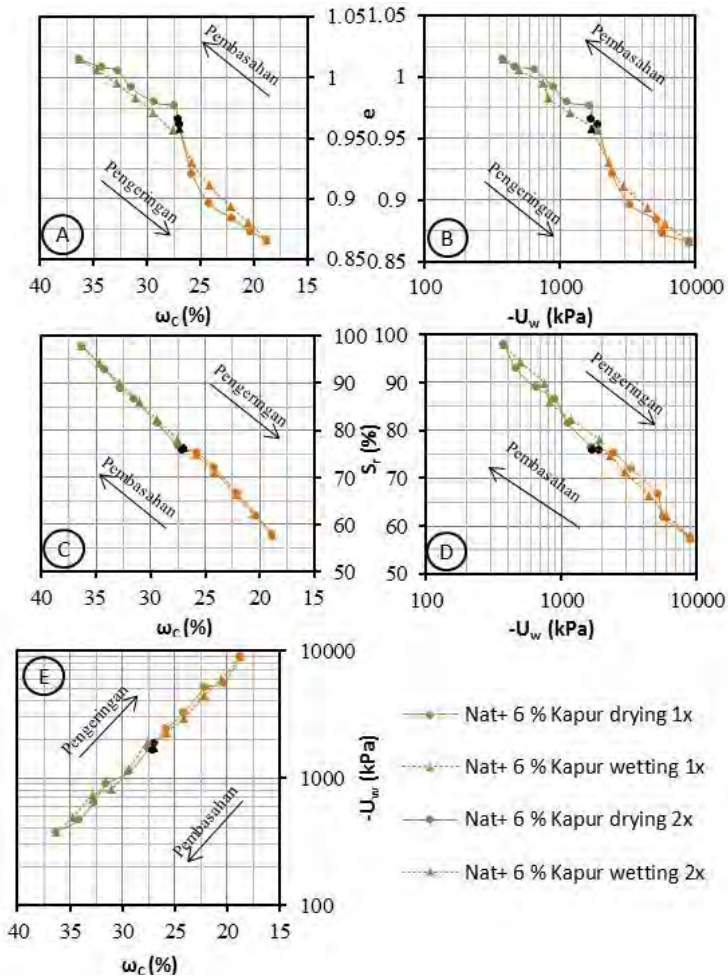
**Gambar 4.18** Hubungan antara *shear stress* dan *normal stress* pada tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari gambar 4.18 didapat nilai modulus elastisitasnya adalah :

- $\phi = 1.8^\circ$
- $c = 5.89 \text{ kg/cm}^2 = 589 \text{ kN/m}^2$

#### 4.2.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural + 6% kapur dari siklus pengeringan-pembasaan pada siklus pertama dan kedua.



**Gambar 4.19** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



#### **4.2.3.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.19A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan akibat adanya proses pengeringan nilai angka pori tanah natural + 6% kapur menurun sebesar 7.378 %. Hal ini disebabkan tanah mengalami penyusutan yang menyebabkan volume pori tanah mengecil sehingga angka pori ikut mengecil. Sebaliknya, saat kadar air bertambah (*wetting*) nilai angka pori meningkat sebesar 8.288 %. Hal ini disebabkan tanah mengembang menyebabkan volume pori membesar sehingga angka pori pun membesar juga.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai angka pori meningkat 0.473 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.2.3.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.19B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin turun nilai angka pori nilai tegangan air pori negatif akan semakin naik. Peningkatan tegangan air pori negatif dipengaruhi oleh kadar air yang terserap oleh kertas filter whatman, semakin kecil angka pori semakin sedikit air yang terserap oleh kertas filter whatman. Kadar air kertas filter whatman juga dipengaruhi oleh kadar air tanahnya, kadar air tanah mengecil maka kadar air kertas filter whatman juga semakin kecil. Semakin kecil kadar air pada kertas filter whatman akan semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

#### **4.2.3.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.19C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural + 6% kapur. Kurva

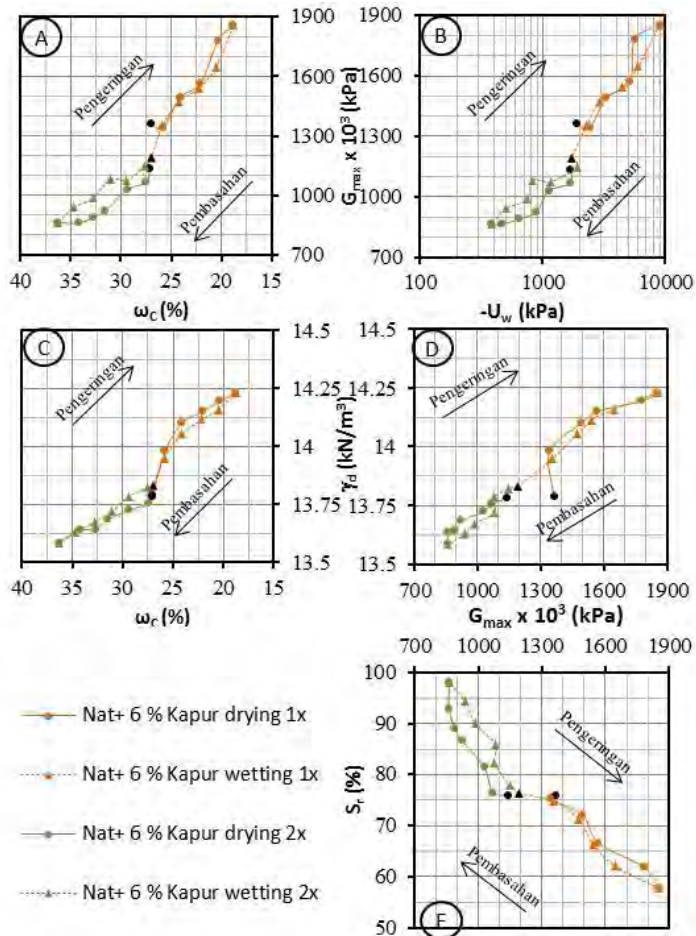
tersebut menunjukkan pada proses bertambahnya kadar air dari kondisi awal (*wetting*) nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 30.264 %. Sebaliknya, jika kadar air semakin kecil nilai derajat kejenuhan menurun 23.250%. Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai derajat kejenuhan menurun 0.080% dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.2.3.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.19D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin naik derajat kejenuhannya semakin turun tegangan air pori negatifnya (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin turun derajat kejenuhannya semakin naik tegangan air pori negatifnya (proses pengeringan).

#### **4.2.3.5 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.19E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 6% kapur. Pada gambar tersebut terlihat bahwa akibat kadar air yang berkurang (proses pengeringan) nilai tegangan air pori negatif meningkat 359.840 %. Akibat kadar air yang bertambah (proses pembasahan) nilai tegangan air pori negatif menurun 79.416 %. Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai tegangan air pori negatif menurun 11.109 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.



**Gambar 4.20** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.2.3.6 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.20A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin naik kadar airnya (proses pembasahan) nilai modulus geser maksimum menurun 31.685 %. Sebaliknya semakin turun kadar airnya (proses pengeringan), nilai modulus geser maksimum meningkat 34.106%. Besarnya nilai modulus geser maksimum dipengaruhi oleh kecepatan rambat sinyal jika semakin cepat maka nilai modulus geser maksimum semakin besar.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai modulus geser maksimum menurun 16.392 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.2.3.7 Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.20B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan modulus geser berbanding lurus, yaitu semakin naik tegangan air pori negatifnya, modulus geser maksimumnya juga semakin naik (proses pengeringan) dan sebaliknya semakin turun tegangan air pori negatifnya, modulus geser maksimumnya juga semakin turun (proses pengeringan).

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai tegangan air pori negatif menurun 11.109 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 16.392 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.2.3.8 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.20C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah

natural+ 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan semakin kadar air bertambah (*wetting*) nilai kepadatan kering maksimum menurun sebesar 2.292 %. Pada saat kadar air berkurang (*drying*) nilai kepadatan kering meningkat 2.333 %. Hal ini disebabkan masa tanah semakin padat.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai kepadatan kering menurun 0.035 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

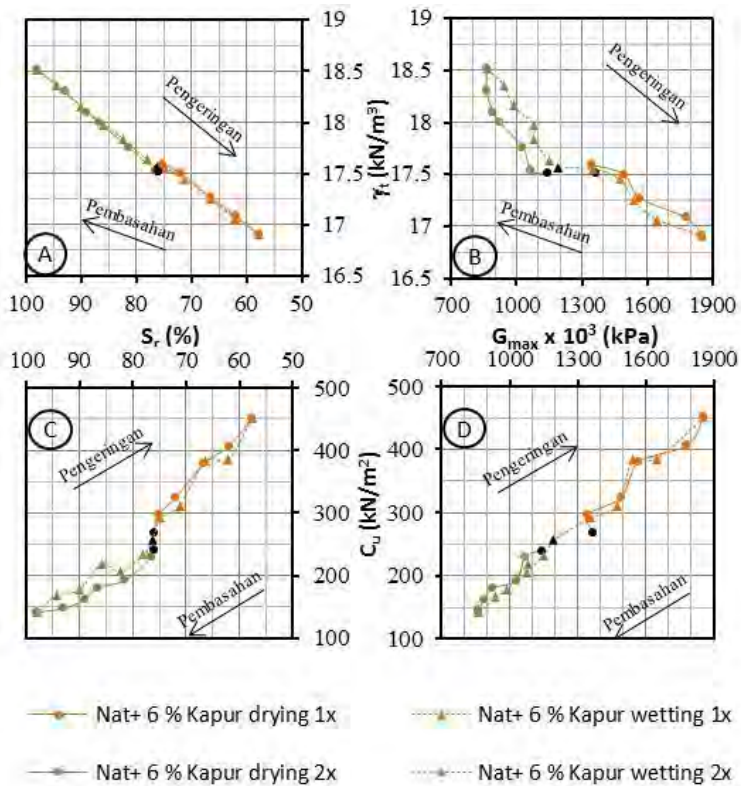
#### **4.2.3.9 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.20D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural+ 6% kapur. Dari kurva tersebut terlihat bahwa kepadatan kering dengan modulus geser maksimum berbanding lurus. Semakin besar kepadatan kering semakin besar pula modulus geser maksimumnya (proses pengeringan) dan sebaliknya semakin kecil kepadatan kering semakin kecil pula modulus geser maksimumnya (proses pembasahan).

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai kepadatan kering menurun 0.035 % dan modulus geser maksimum menurun 16.392 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.2.3.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.20E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural+ 6% kapur. Dari kurva tersebut terlihat bahwa kepadatan kering dengan modulus geser maksimum berbanding terbalik. Semakin besar nilai derajat kejenuhan semakin kecil modulus geser maksimumnya (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin kecil nilai derajat kejenuhan semakin besar nilai modulus geser maksimumnya (proses pengeringan).



**Gambar 4.21** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.2.3.11 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.21A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan semakin berat volume tanah dan modulus geser maksimum berbanding terbalik, yaitu semakin naik berat volume tanah maka derajat kejenuhan cenderung semakin meningkat (proses pembasahan). Akibat proses pembasahan nilai derajat kejenuhan meningkat 30.264 % dan berat volume tanah meningkat 4,653 %. Sebaliknya nilai berat volume tanah dan derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil (proses pengeringan). Akibat proses pengeringan nilai derajat kejenuhan menurun 23.250 % dan berat volume tanah menurun 4.435 %. Kurva tersebut juga menunjukkan nilai berat volume tanah menurun 0.006 % dan nilai derajat kejenuhan menurun 0.080 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.2.3.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.21B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan berat volume tanah dan modulus geser maksimum berbanding terbalik, yaitu semakin turun berat volume tanah maka modulus geser maksimum cenderung semakin meningkat (proses pengeringan). Akibat proses pengeringan nilai berat volume tanah menurun sebesar 4.435 % dan nilai modulus geser maksimum meningkat 34.106 %. Pada saat kadar air bertambah (*wetting*) nilai berat volume tanah meningkat sebesar 4.653 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 31.685 %. Kurva tersebut juga menunjukkan nilai berat volume tanah menurun 0.006 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 16.392 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

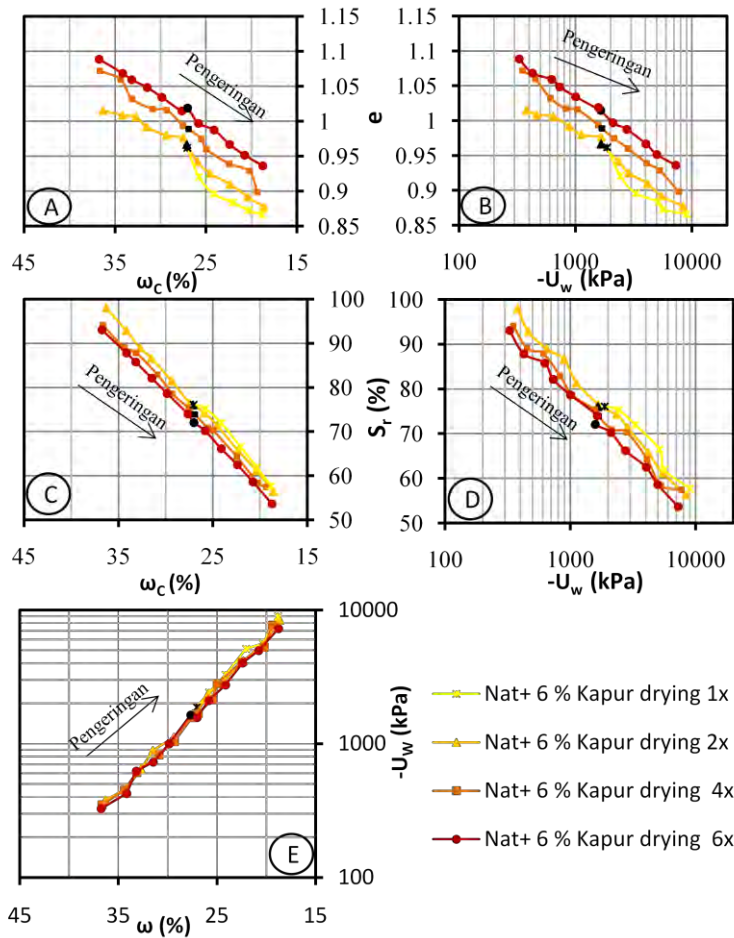
#### **4.2.3.13 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.21C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural + 6% kapur. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kohesi dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin naik derajat kejenuhannya maka kohesinya cenderung semakin turun (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin turun derajat kejenuhannya maka kohesinya cenderung semakin naik (proses pengeringan). Akibat proses pembasahan nilai derajat kejenuhan meningkat 30.264 % dan kohesi menurun 43.967 % sedangkan akibat proses pengeringan nilai derajat kejenuhan menurun 23.250 % dan kohesi meningkat 69.023 %. Kurva tersebut juga menunjukkan nilai derajat kejenuhan menurun 0.080 % dan nilai kohesi menurun 10.333 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.2.3.14 Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.21D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa modulus geser maksimum dengan kohesi berbanding lurus, yaitu semakin turun modulus geser maksimumnya maka kohesinya juga semakin turun (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin naik modulus geser maksimumnya maka kohesinya juga semakin naik (proses pengeringan). Akibat proses pembasahan nilai kohesi menurun 43.967 % dan modulus geser maksimum menurun 31.685 % sedangkan akibat proses pengeringan nilai modulus geser maksimum meningkat 34.106 % dan kohesi meningkat 69.023 %. Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai modulus geser maksimum menurun 0.080 % dan nilai kohesi menurun 10.333 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.





**Gambar 4.22** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural+ 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.2.4 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang pada Siklus 1x, 2x, 4x dan 6x**

Seiring penambahan proses pengeringan (pengeringan berulang) yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.22, 4.23, dan 4.24.

##### **4.2.4.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.22A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan jumlah proses pengeringan mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 6% kapur membesar berarti ruang porinya bertambah banyak. Nilai angka pori tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 0.962, 0.966, 0.989 dan 1.019. Akibat proses pengeringan berulang nilai angka pori pada tanah natural + 6% kapur meningkat 8.494 %. Hal ini membuktikan akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan angka pori meningkat dari kondisi semula. Pengaruh stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah kapur dapat memperbaiki sifat fisik (angka pori) tanah natural.

##### **4.2.4.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar, 4.22B adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural maupun tanah yang distabilisasi, nilai angka pori semakin membesar dan nilai tegangan air pori negatif menurun. Nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Akibat

proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%. Hal ini disebabkan karena angka pori yang besar menyebabkan kadar air kertas whatman membesar sehingga nilai tegangan air pori negatif akan kecil.

#### **4.2.4.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.22C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural maupun tanah natural + 6% kapur, nilai angka derajat kejenuhan mengecil karena volume pori yang meningkat. Nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Akibat proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%. Derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ), akibat volume pori yang meningkat menyebabkan nilai derajat kejenuhan menurun.

#### **4.2.4.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.22D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur menurun, nilai tegangan air pori negatif tanah natural berturut-turut adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Begitu juga dengan nilai derajat kejenuhannya menurun, nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan

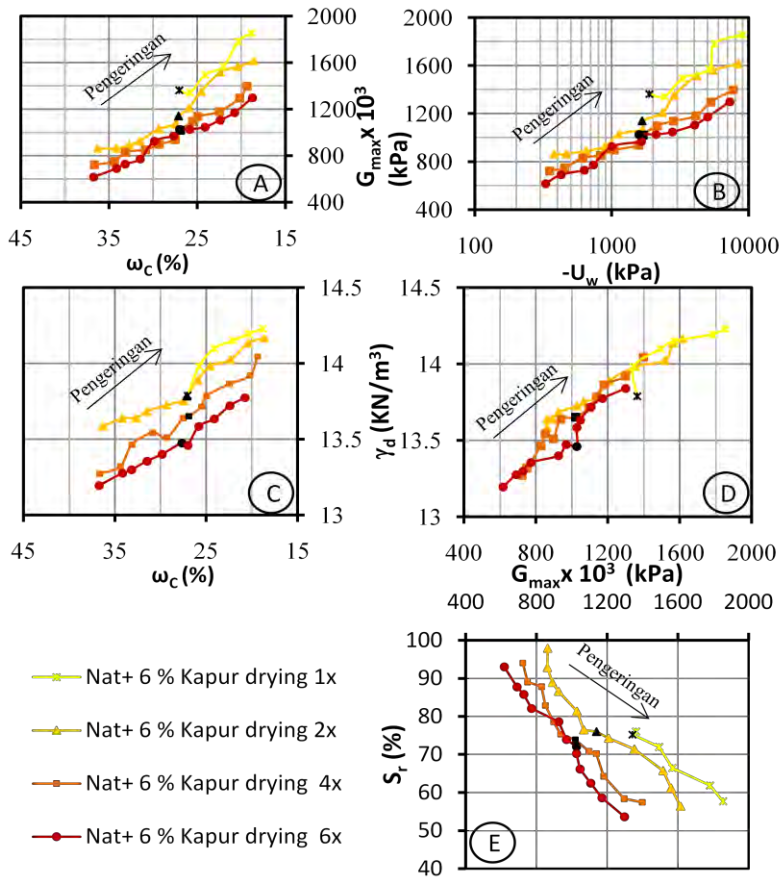
72.060 %. Akibat proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur menurun 6.381% dan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%.

#### **4.2.4.5 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.22E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (suction) dengan kadar air pada tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif semakin turun dengan kadar air yang cenderung naik turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur meningkat, nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Akibat proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%.

#### **4.2.4.6 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.23A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur. Proses yang berulang menyebabkan rongga pada tanah menjadi besar sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menghantarkan sinyal semakin banyak atau lebih lambat sehingga menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Nilai modulus geser maksimum + 6% kapur berturut-turut adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Akibat proses pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%.



**Gambar 4.23** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural+ 6% kapur.  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.2.4.7 Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.23B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin turun. Nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Begitu juga dengan nilai modulus geser maksimum menurun, nilai modulus geser maksimum tanah natural 6% kapur berturut-turut adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Akibat proses pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum tanah natural + 6% kapur menurun 28.656% dan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%.

#### 4.2.4.8 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

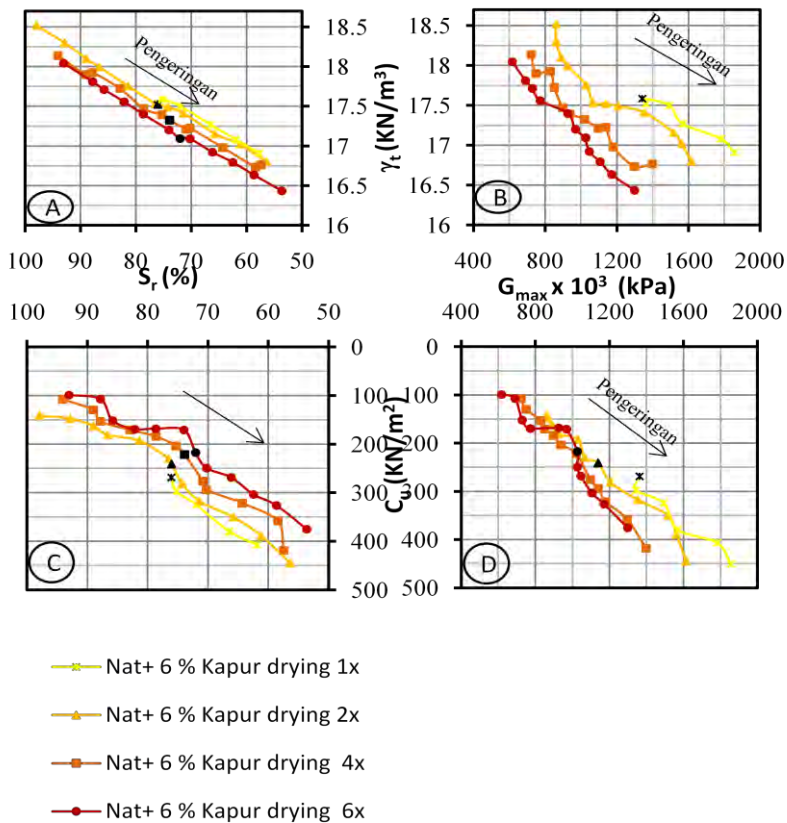
Gambar 4.23C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan tanah natural + 6% kapur pada saat mengalami pengeringan kepadatan keringnya akan meningkat sehingga masa tanah semakin padat. Terlihat bahwa akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai kepadatan kering akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Pada kondisi tanah inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai kepadatan kering tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 13.789, 13.704, 13.637, dan  $13.548 \text{ kN/m}^3$ . Akibat proses pengeringan berulang nilai kepadatan kering tanah natural + 6% kapur menurun 2.877%.

#### 4.2.4.9 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.23D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur. Nilai modulus geser maksimum dan nilai kepadatan kering akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai modulus geser maksimum menurun, nilai modulus geser maksimum tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Begitu juga dengan nilai kepadatan kering menurun, nilai kepadatan kering tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 13.79, 13.78, 13.65 dan 13.46 kN/m<sup>3</sup>. Akibat proses pengeringan berulang nilai kepadatan kering tanah natural + 6% kapur menurun 2.877% dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%.

#### 4.2.4.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.23E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur. Penerapan proses pengeringan berulang, nilai modulus geser maksimum dan nilai derajat kejenuhan akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai modulus geser maksimum tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Begitu juga nilai derajat kejenuhannya menurun, nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Akibat proses pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum tanah natural + 6% kapur menurun 28.656% dan nilai derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%.



**Gambar 4.24** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural+ 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



#### **4.2.4.11 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.24A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Begitu juga nilai berat volume tanahnya menurun, nilai berat volume tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 17.52, 17.52, 17.33 dan 17.10 kN/m<sup>3</sup>. Akibat proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur menurun 6.381% dan nilai berat volume tanah pada tanah natural + 6% kapur menurun 2.785%.

#### **4.2.4.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.24B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai modulus geser maksimum tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Begitu juga nilai berat volume tanahnya menurun, nilai berat volume tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 17.52, 17.52, 17.33 dan 17.10 kN/m<sup>3</sup>. Akibat proses pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum tanah natural + 6% kapur menurun 28.656% dan nilai berat volume tanah pada tanah natural + 6% kapur menurun 2.785%.

#### 4.2.4.13 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.24C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka derajat kejenuhan dan kohesi semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Begitu juga dengan nilai kohesi menurun, nilai kohesi tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 268.500, 240.756, 221.266 dan 216.765 kN/m<sup>2</sup>. Akibat proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur menurun 6.381% dan nilai kohesi pada tanah natural + 6% kapur menurun 18.465%.

#### 4.2.4.14 Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.24D adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka modulus geser maksimum dan kohesi semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai modulus geser maksimum tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Begitu juga dengan nilai kohesi menurun, nilai kohesi tanah natural + 6% kapur berturut-turut adalah 268.500, 240.756, 221.266 dan 216.765 kN/m<sup>2</sup>. Akibat proses pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum tanah natural + 6% kapur menurun 28.656% dan nilai kohesi pada tanah natural + 6% kapur menurun 18.465%.

### 4.3 Hasil Pengujian Tanah Natural + *Fly Ash*

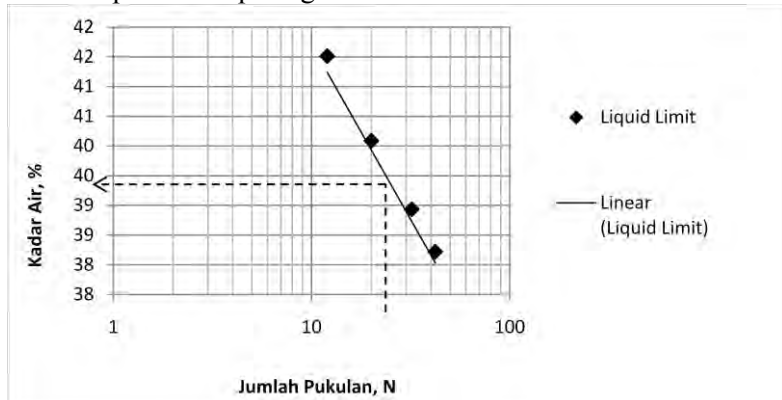
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural + 10% *fly ash* yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

#### 4.3.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural + 10% *fly ash*.

##### 4.3.1.1 Hasil Pengujian *Atterberg Limits*

Pengujian *Atterberg limits* tanah natural + 10% *fly ash* terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.25.



**Gambar 4.25** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

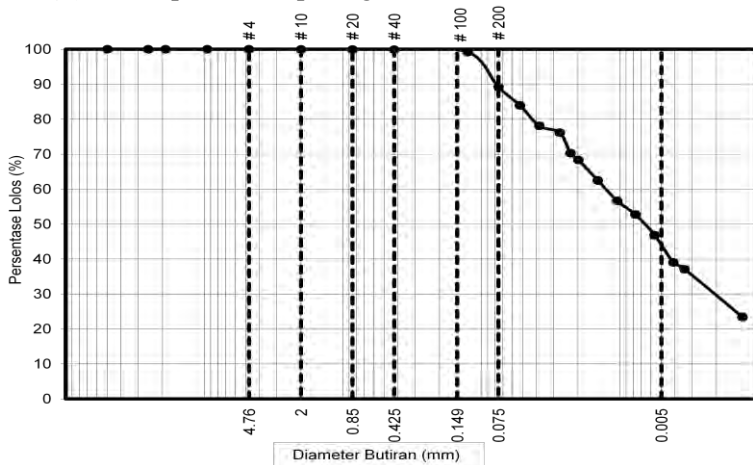
Berdasarkan gambar 4.25 kadar air pada ketukan ke 25 adalah 40%. Sedangkan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 21.706 %. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Sehingga hasil pengujian

dari *Atterberg imits* tanah natural + 10% *fly ash* adalah sebagai berikut :

- LL = 40 %
- PL = 21.706 %
- PI = 18.294 %

#### 4.3.1.2 Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tanah natural + 10% *fly ash* dapat dilihat pada gambar 4.26.



**Gambar 4.26** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butiran diatas didapat persentase masing-masing fraksi tanah yaitu :

- Kerikil (*gravel*) = 0 %
- Pasir (*gravel*) = 10.83 %
- Lanau (*silt*) = 65.744 %
- Lempung (*clay*) = 23.426 %

#### 4.3.1.3 Klasifikasi Tanah

Berdasarkan sifat-sifat fisik diatas, menurut USCS tanah natural + 10% *fly ash* termasuk ke dalam kelompok tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang (CL) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-6

#### 4.3.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika diberi beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural + 10% *fly ash*.

##### 4.3.2.1 Hasil Pengujian Proctor Standar

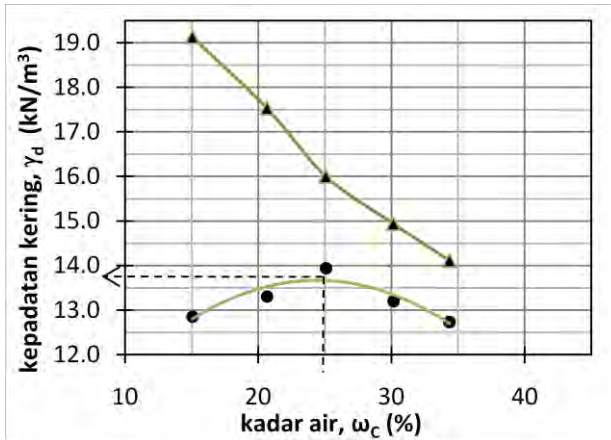
Hasil pengujian pemadatan terhadap tanah natural yang dicampur dengan 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% *fly ash* dengan masa pemeraman masing-masing selama 2 hari yang dipadatkan dengan pemadatan standar dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil pengujian pemadatan standar tanah + *fly ash*

Kadar <i>Fly ash</i>	$\gamma_d$ maks. (kN/m <sup>3</sup> )	$\omega_c$ opt. (%)
5 %	13.5	26
10 %	13.7	25
15 %	13.6	26
20 %	13.5	24
25 %	13.4	24

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari tabel 4.2 dapat dilihat kadar *fly ash* paling optimum yang digunakan untuk campuran adalah tanah + 10% *fly ash* dengan nilai kepadatan kering maksimum sebesar 13.7 kN/m<sup>3</sup> dan nilai kadar air optimum sebesar 25%, dapat dilihat juga pada gambar 4.27.

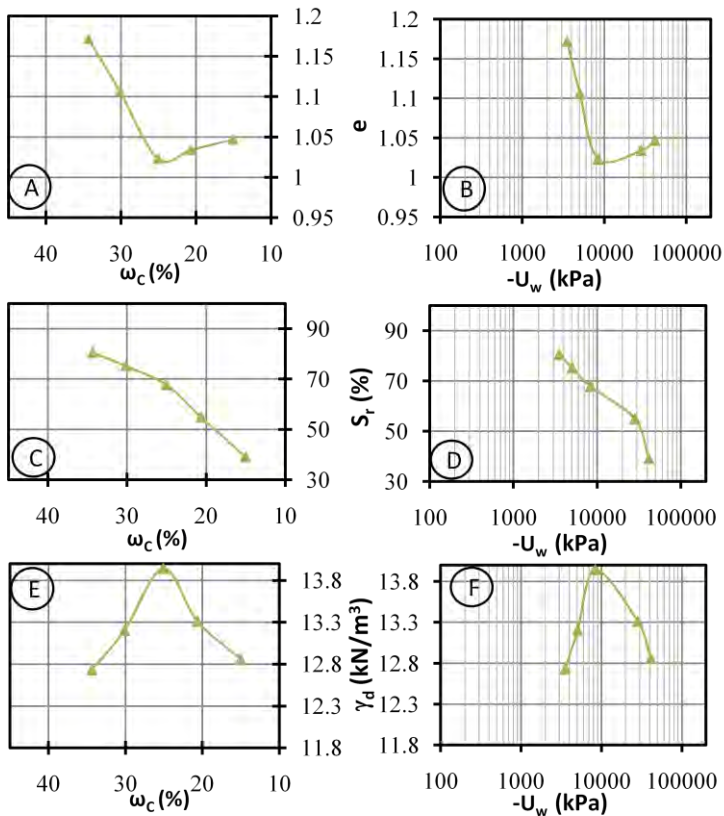


**Gambar 4.27** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan grafik pemadatan tanah natural + 10% *fly ash* diatas didapat nilai kepadatan kering maksimum sebesar 13.7 kN/m<sup>3</sup> dan nilai kadar air optimum sebesar 25 %.

#### 4.3.2.2 Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural + 10% *Fly Ash*

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural + 10% *fly ash*.



Tanah Natural + 10% *fly ash* :

$\gamma_{d \text{ maks}}$	= 13.7 $\text{kN/m}^3$ ,
$\omega_{c \text{ opt}}$	= 25 %

**Gambar 4.28** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### **G. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.28A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural + 10% *fly ash*. Tampak bahwa nilai angka pori seiring bertambahnya kadar air semakin mengecil nilai angka porinya. Sampai kadar air optimum yaitu 25 % nilai angka pori memiliki nilai paling kecil yaitu sebesar 1.023. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut rongga pada tanah paling kecil sehingga kepadatan tanah paling maksimum.

### **H. Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.28B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 10% *fly ash*. Dalam gambar 4.5B ditunjukkan bahwa semakin kadar air bertambah semakin kecil nilai angka porinya sehingga nilai tegangan air pori negatif semakin meningkat sampai pada nilai angka pori paling kecil yaitu sebesar 1.023 nilai tegangan air pori negatifnya 8400.382 kPa. Hal ini disebabkan karena jika angka pori semakin kecil maka kadar air kertas filter whatman akan semakin kecil, semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya. Setelah mencapai kepadatan maksimum nilai tegangan air pori negatif terus menurun. Hal ini disebabkan karena kadar air kertas whatman semakin besar karena nilai angka pori yang semakin meningkat.

### **I. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.28C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 10% *fly ash*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kadar air dengan derajat kejenuhan berbanding lurus, yaitu semakin besar kadar air semakin meningkat derajat kejenuhannya. hal ini disebabkan tanah mengembang saat kadar air bertambah sehingga volume air



membesar. Dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga nilai derajat kejenuhan pun ikut membesar. Sebaliknya derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil.

#### **J. Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.28D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 10% *fly ash*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin kecil tegangan air pori negatif semakin besar derajat kejenuhannya. Hal ini disebabkan kadar air tanah yang terus bertambah menyebabkan nilai derajat kejenuhan meningkat dan kadar air kertas whatman meningkat sehingga semakin kecil nilai tegangan air pori negatifnya.

#### **K. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.28E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural + 10% *fly ash*. Tampak bahwa seiring bertambahnya kadar air semakin besar nilai kepadatan kering sampai kadar air optimum yaitu 25 % nilai kepadatan kering memiliki nilai paling besar yaitu sebesar  $13.943 \text{ kN/m}^3$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut rongga pada tanah paling kecil sehingga kepadatan tanah paling maksimum. Setelah kondisi kepadatan tanah mencapai maksimum, jika kadar air terus bertambah maka nilai kepadatan kering semakin menurun.

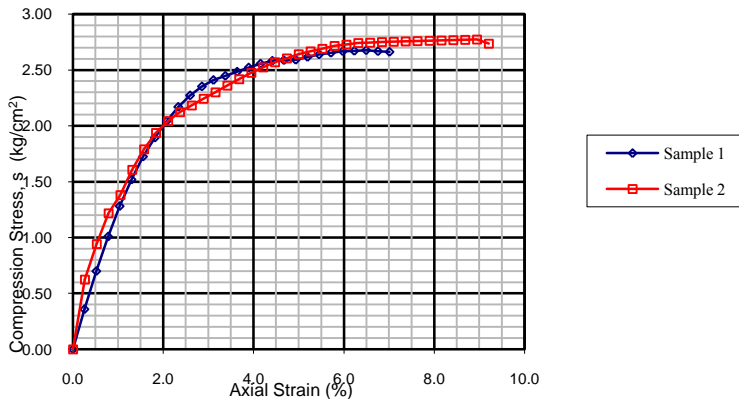
#### **L. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.28F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural + 10% *fly ash*. Tampak bahwa besarnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ )

akan bertambah jika kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) semakin naik. Hal ini disebabkan karena jika tanah yang memiliki kepadatan kering yang tinggi kadar air pada kertas filter Whatman akan semakin mengecil karena air yang terserap lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang memiliki kepadatan yang kecil. Semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya. Pada kondisi puncak yaitu kepadatan kering maksimum  $13.943 \text{ kN/m}^3$  nilai tegangan air pori negatifnya sebesar  $8400.382 \text{ kPa}$ .

#### 4.3.2.3 Hasil Pengujian Triaksial

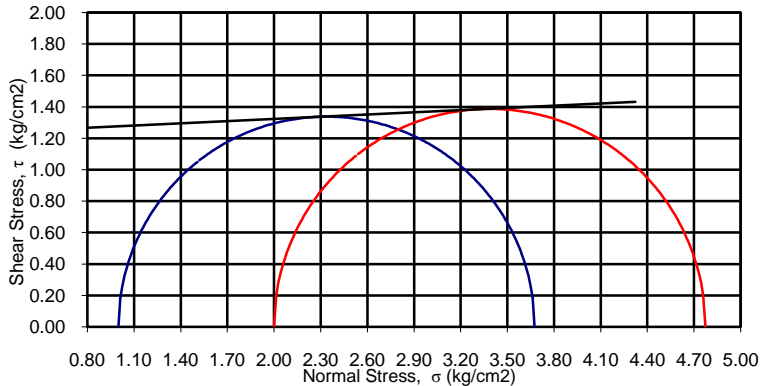
Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural.



**Gambar 4.29** Hubungan antara *compression stress* dan *axial strain* pada tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari gambar 4.29 didapat nilai modulus elastisitasnya adalah :

- $E_1 = 128.757 \text{ kg/cm}^2 = 12875.7 \text{ kN/m}^2$
- $E_2 = 131.750 \text{ kg/cm}^2 = 13175.0 \text{ kN/m}^2$



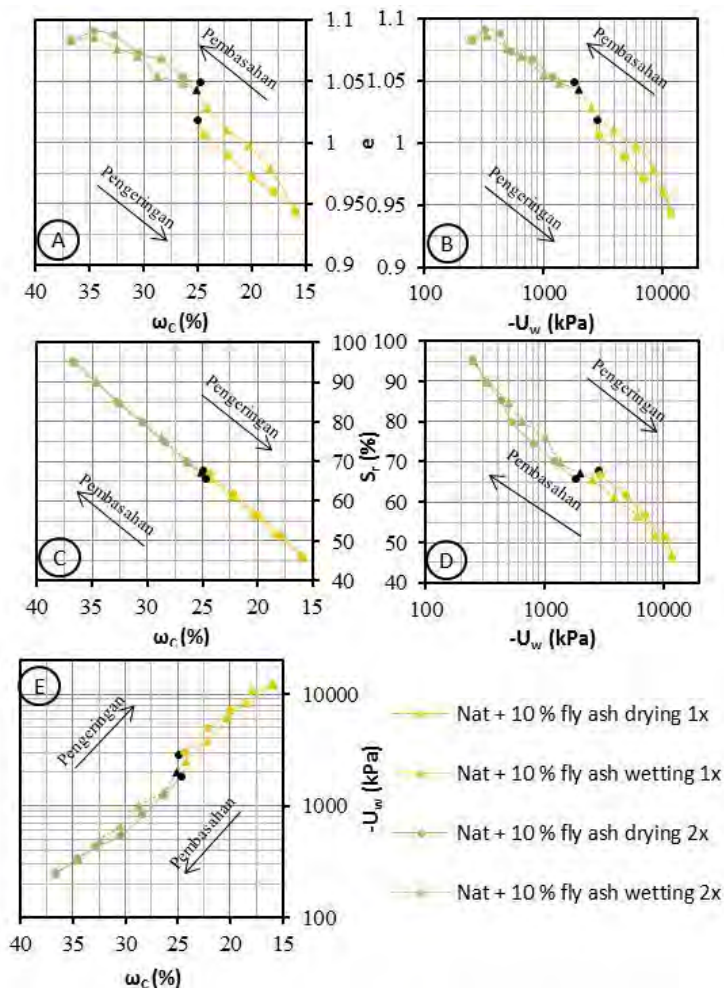
**Gambar 4.30** Hubungan antara *shear stress* dan *normal stress* pada tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari gambar 4.30 didapat nilai modulus elastitistasnya adalah :

- $\phi = 2.7^\circ$
- $c = 1.23 \text{ kg/cm}^2 = 123 \text{ kN/m}^2$

#### 4.3.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural + 10% *fly ash* dari siklus pengeringan-pembasahan pada siklus pertama dan kedua.



**Gambar 4.31** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 10% fly ash (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.3.3.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.31A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural. Kurva tersebut menunjukkan akibat adanya pengeringan nilai angka pori tanah natural + 10% *fly ash* menurun sebesar 5.233 %. Hal ini disebabkan tanah mengalami penyusutan yang menyebabkan volume pori tanah mengecil sehingga angka pori ikut mengecil. Sebaliknya, saat kadar air bertambah (*wetting*) nilai angka pori meningkat sebesar 7.182 %. Hal ini disebabkan tanah mengembang menyebabkan volume pori membesar sehingga angka pori pun membesar juga.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai angka pori meningkat 3.022 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### 4.3.3.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.31B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin turun nilai angka pori nilai tegangan air pori negatif akan semakin naik. Peningkatan tegangan air pori negatif dipengaruhi oleh kadar air yang terserap oleh kertas filter whatman, semakin kecil angka pori semakin sedikit air yang terserap oleh kertas filter whatman. Kadar air kertas filter whatman juga dipengaruhi oleh kadar air tanahnya, kadar air tanah mengecil maka kadar air kertas filter whatman juga semakin kecil. Semakin kecil kadar air pada kertas filter whatman akan semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

#### 4.3.3.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.31C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural + 10% *fly ash*.

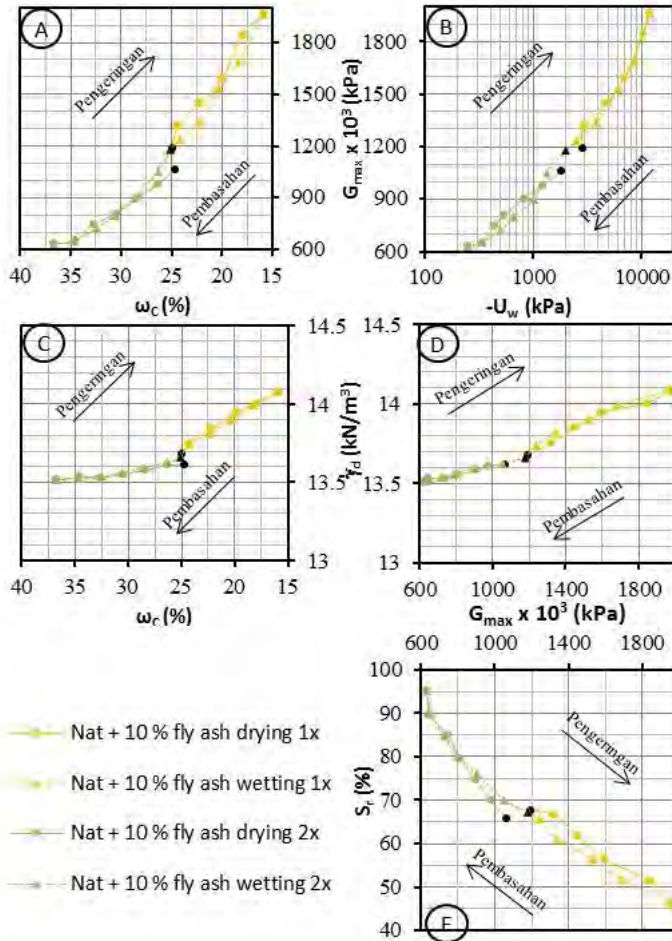
Kurva tersebut menunjukkan pada proses bertambahnya kadar air dari kondisi awal (*wetting*) nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 43.899 %. Sebaliknya, jika kadar air semakin kecil nilai derajat kejenuhan menurun 31.528 %. Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai derajat kejenuhan meningkat 2.944% dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.3.3.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.31D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 10% *fly ash*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin naik derajat kejenuhannya semakin turun tegangan air pori negatifnya (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin turun derajat kejenuhannya semakin naik tegangan air pori negatifnya (proses pengeringan).

#### **4.3.3.5 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.31E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 10% *fly ash*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa akibat kadar air yang berkurang (proses pengeringan) nilai tegangan air pori negatif meningkat 477,191 %. Akibat kadar air yang bertambah (proses pembasahan) nilai tegangan air pori negatif meningkat 85,368 %. Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai tegangan air pori negatif menurun 35.097 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.



**Gambar 4.32** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural + 10% fly ash  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.3.3.6 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.32A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 10% *fly ash*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin naik kadar airnya (proses pembasahan) nilai modulus geser maksimum menurun 43.151%. Sebaliknya semakin turun kadar airnya (proses pengeringan), nilai modulus geser maksimum meningkat 66.510%. Besarnya nilai modulus geser maksimum dipengaruhi oleh kecepatan rambat sinyal jika semakin cepat maka nilai modulus geser maksimum semakin besar.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai modulus geser maksimum menurun 10.658% dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### 4.3.3.7 Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.32B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 10% *fly ash*. Semakin naik tegangan air pori negatifnya, modulus geser maksimumnya juga semakin naik (proses pengeringan) dan sebaliknya semakin turun tegangan air pori negatifnya, modulus geser maksimumnya juga semakin turun (proses pengeringan).

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai tegangan air pori negatif menurun 35.097% dan nilai modulus geser maksimum menurun 10.658% dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### 4.3.3.8 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.32C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan semakin kadar air bertambah (*wetting*) nilai kepadatan kering maksimum



menurun sebesar 2.022%. Hal ini disebabkan tanah mengembang dan rongga pori meningkat selama proses pembasahan sehingga kepadatan menurun. Pada saat kadar air berkurang (*drying*) nilai kepadatan kering meningkat 1.830%. Hal ini disebabkan masa tanah semakin padat.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai kepadatan kering menurun 0.480 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

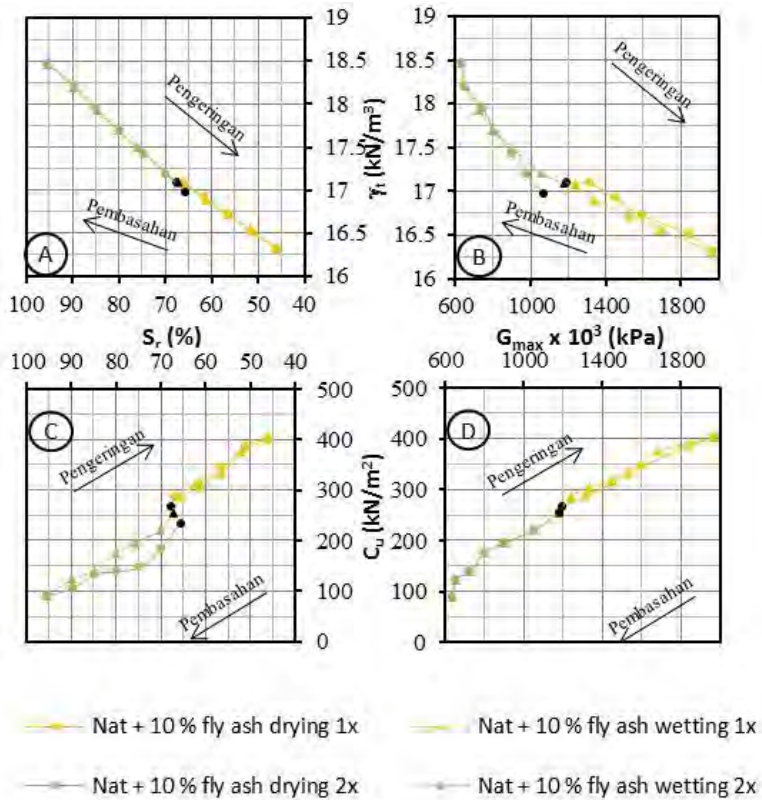
#### **4.3.3.9 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.32D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 10% *fly ash*. Dari kurva tersebut terlihat bahwa kepadatan kering dengan modulus geser maksimum berbanding lurus. Semakin besar kepadatan kering semakin besar pula modulus geser maksimumnya (proses pengeringan) dan sebaliknya semakin kecil kepadatan kering semakin kecil pula modulus geser maksimumnya (proses pembasahan).

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai kepadatan kering menurun 0.480% dan modulus geser maksimum menurun 22.88 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.3.3.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.32E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 10% *fly ash*. Dari kurva tersebut terlihat bahwa kepadatan kering dengan modulus geser maksimum berbanding terbalik. Semakin besar nilai derajat kejenuhan semakin kecil modulus geser maksimumnya (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin kecil nilai derajat kejenuhan semakin besar nilai modulus geser maksimumnya (proses pengeringan).



**Gambar 4.33** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural + 10% *fly ash*

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.3.3.11 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.33A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan semakin berat volume tanah dan modulus geser maksimum berbanding terbalik, yaitu semakin naik berat volume tanah maka derajat kejenuhan cenderung semakin meningkat (proses pembasahan). Akibat proses pembasahan nilai derajat kejenuhan meningkat 43.899 % dan berat volume tanah menurun 6.413%. Sebaliknya nilai berat volume tanah dan derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil (proses pengeringan). Akibat proses pengeringan nilai derajat kejenuhan menurun 31.528% dan berat volume tanah menurun 6.322 %. Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai berat volume tanah menurun 0.686% dan nilai derajat kejenuhan meningkat 2.944% dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### 4.3.3.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.33B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan berat volume tanah dan modulus geser maksimum berbanding terbalik, yaitu semakin turun berat volume tanah maka modulus geser maksimum cenderung semakin meningkat (proses pengeringan). Akibat proses pengeringan nilai berat volume tanah menurun sebesar 6.322% dan nilai modulus geser maksimum meningkat 66.510%. Pada saat kadar air bertambah (*wetting*) nilai berat volume tanah meningkat sebesar 6.413% dan nilai modulus geser maksimum meningkat 43.151%. Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai berat volume tanah menurun 0.686% dan nilai modulus geser maksimum menurun 10.658% dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### 4.3.3.13 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.33C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural + 10% *fly ash*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kohesi dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin naik derajat kejenuhannya maka kohesinya cenderung semakin turun (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin turun derajat kejenuhannya maka kohesinya cenderung semakin naik (proses pengeringan). Akibat proses pembasahan nilai derajat kejenuhan meningkat 43.899% dan kohesi menurun 50.571% sedangkan akibat proses pengeringan nilai derajat kejenuhan menurun 31.528% dan kohesi meningkat 105.310%. Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai derajat kejenuhan meningkat 2.944% dan nilai kohesi menurun 12.069% dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### 4.3.3.14 Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.33D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural + 10% *fly ash*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa modulus geser maksimum dengan kohesi berbanding lurus, yaitu semakin turun modulus geser maksimumnya maka kohesinya juga semakin turun (proses pembasahan) dan sebaliknya semakin naik modulus geser maksimumnya maka kohesinya juga semakin naik (proses pengeringan). Akibat proses pembasahan nilai kohesi menurun 50.571% dan modulus geser maksimum menurun 43.151% sedangkan akibat proses pengeringan nilai kohesi meningkat 105.310% dan modulus geser maksimum meningkat 66.510%. Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai modulus geser maksimum menurun 10.658 % dan nilai kohesi menurun

12.069% dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.3.4 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang pada Siklus 1x, 2x, 4x dan 6x**

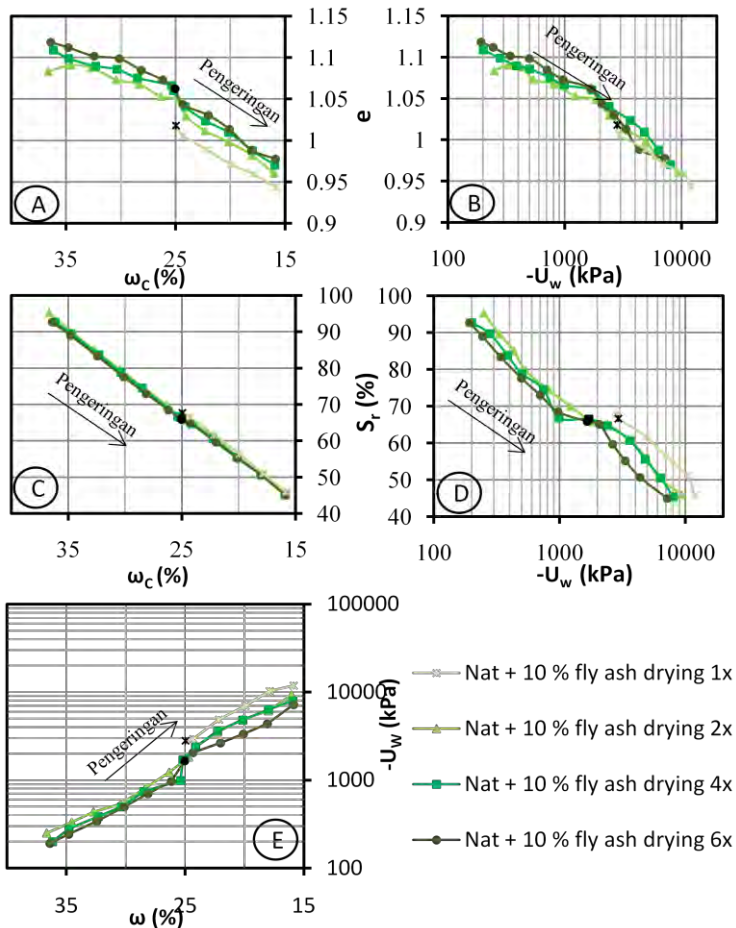
Seiring penambahan proses pengeringan berulang yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.34, 4.35, dan 4.36.

##### **4.3.4.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.34A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural + 10% *fly ash* akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan jumlah proses pengeringan mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 3.888% berarti ruang porinya bertambah banyak. Peningkatan angka pori disebabkan oleh molekul dalam tanahnya semakin renggang.

##### **4.3.4.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.34B adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural + 10% *fly ash* akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural + 10% *fly ash*, nilai angka pori semakin membesar dan nilai tegangan air pori negatif menurun. Perubahan nilai tegangan air pori negatif akibat proses pengeringan berulang pada tanah natural 10% *fly ash* menurun sebesar 44.445%. Hal ini disebabkan karena angka pori yang besar menyebabkan kadar air kertas whatman membesar sehingga nilai tegangan air pori negatif akan kecil.



**Gambar 4.34** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 10 % *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.3.4.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

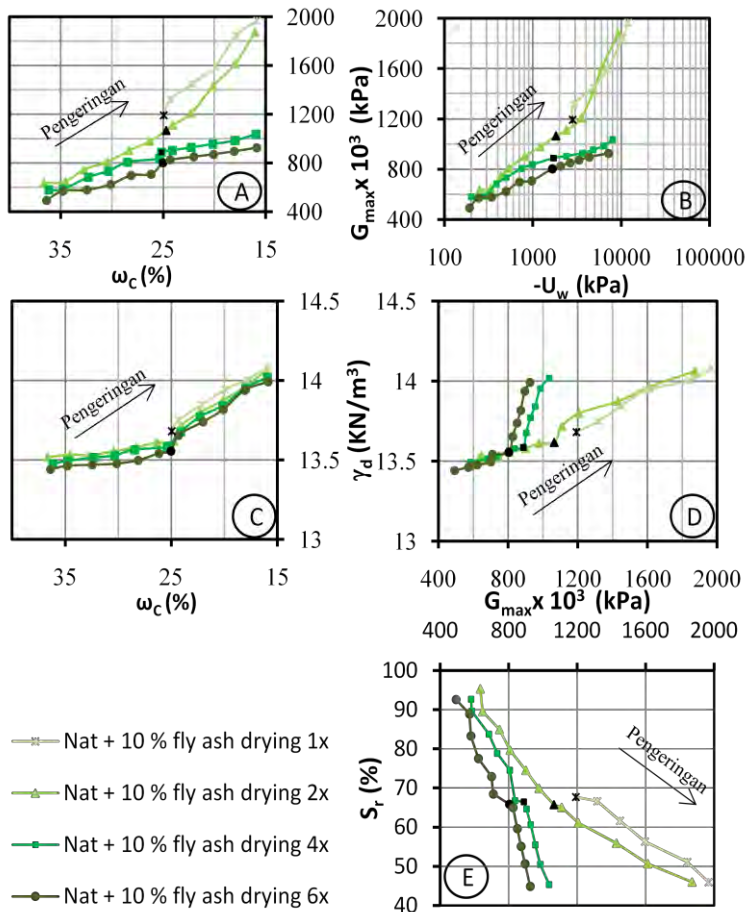
Gambar 4.34C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural + 10% *fly ash* akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural + 10% *fly ash*, nilai derajat kejenuhan mengecil karena volume pori yang meningkat, dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ). Akibat volume pori yang meningkat nilai derajat kejenuhan menurun. Penurunan nilai derajat kejenuhannya sebesar 2.315%.

#### 4.3.4.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.34D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun sebesar 2.315% dan nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 44.445% dari kondisi awal.

#### 4.3.4.5 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )

Gambar 4.34E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 10% *fly ash* pada siklus berulang. Kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif semakin turun dengan kadar air yang cenderung naik turun. Akibat pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 44.445% dari kondisi awal.



**Gambar4.35** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



#### 4.3.4.6 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.35A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 10% *fly ash*. Pada kurva tersebut menunjukkan akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural + 10% *fly ash* menurun 43.514%.

#### 4.3.4.7 Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.35B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 10% *fly ash*. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum menurun 43.514% dan nilai tegangan air pori negatif menurun 44.445% dari kondisi awal.

#### 4.3.4.8 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.35C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan nilai kepadatan kering akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Akibat pengeringan berulang nilai kepadatan kering menurun 0.733 % dari kondisi awal.

#### 4.3.4.9 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.35D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum tanah natural + 10% *fly ash*. Dari kurva tersebut terlihat bahwa akibat proses

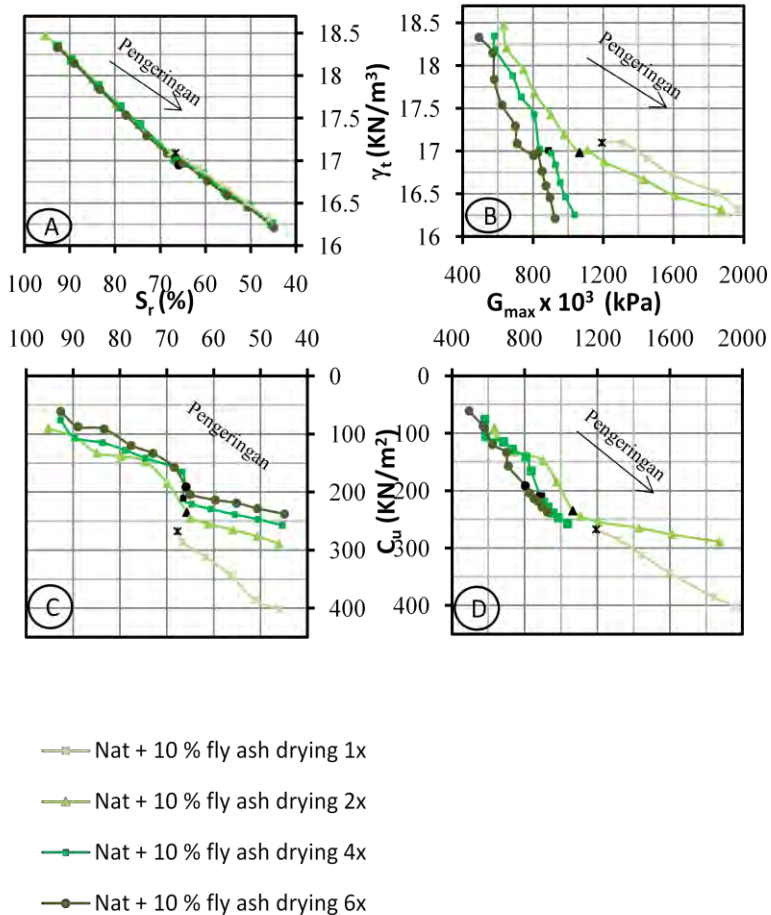
pengeringan yang berulang nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum mengalami penurunan. Akibat pengeringan berulang nilai kepadatan kering menurun 0.733 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 43.514% dari kondisi awal.

#### **4.3.4.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.35E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum tanah natural + 10% *fly ash*. Dari kurva tersebut terlihat bahwa akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai derajat kejenuhan dan nilai modulus geser maksimum mengalami penurunan. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 2.315% dan nilai modulus geser maksimum menurun 43.514% dari kondisi awal.

#### **4.3.4.11 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.36A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai berat volume tanah menurun 0.687 % dan nilai derajat kejenuhan menurun 2.315 % dari kondisi awal.



**Gambar 3.36** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural + 10 % *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.3.4.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.30B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 2.315 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 43.514% dari kondisi awal.

#### 4.3.4.13 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.36C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural + 10% *fly ash*. Pada gambar tersebut menunjukkan semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka derajat kejenuhan dan kohesi semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 2.315 % dan nilai kohesi menurun 34.471 % dari kondisi awal.

#### 4.3.4.14 Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.36D adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural + 10% *fly ash*. Pada gambar tersebut menunjukkan semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka modulus geser maksimum dan kohesi semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum menurun 43.514% dan nilai kohesi menurun 34.471 % dari kondisi awal.

#### 4.4 Hasil Pengujian Tanah Natural + Mikro Biobakteri

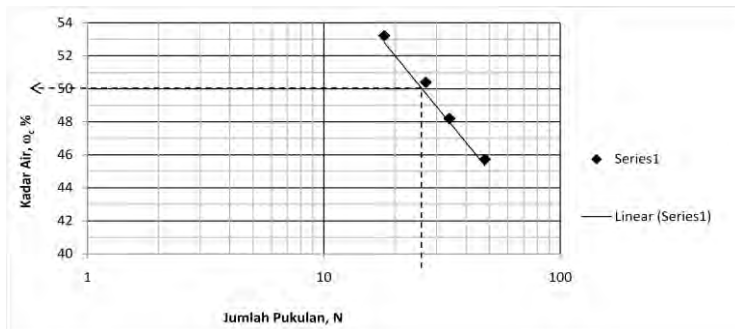
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural + mikro biobakteri yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

##### 4.4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural + mikro biobakteri.

##### 4.4.1.1 Hasil Pengujian *Atterberg Limits*

Pengujian *Atterberg limits* tanah natural + mikro biobakteri terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.37.



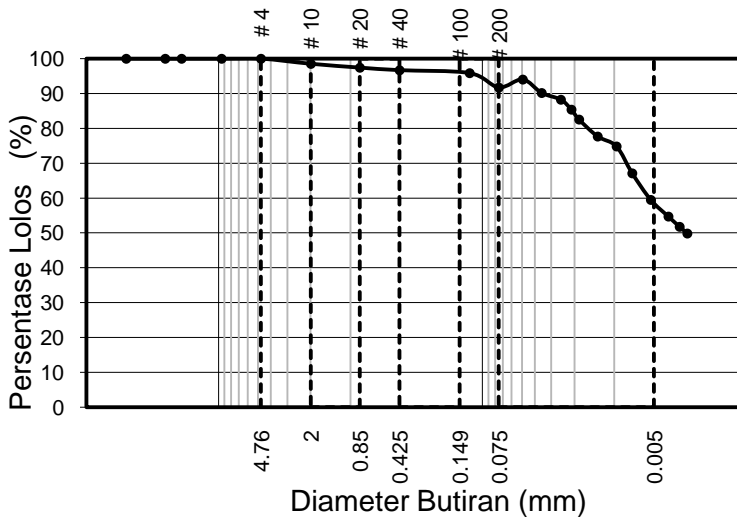
**Gambar 4.37** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural + mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.37 kadar air pada ketukan ke 25 adalah 50 %. Sedangkan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 27.205 %. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Sehingga hasil pengujian dari *Atterberg limits* tanah natural adalah sebagai berikut :

- LL = 50 %
- PL = 27.205 %
- PI = 22.795 %

#### 4.4.1.2 Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tanah natural + mikro biobakteri dapat dilihat pada gambar 4.38.



**Gambar 4.38** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural + mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butiran diatas didapat persentase masing-masing fraksi tanah yaitu :

- Kerikil (*gravel*) = 0 %
- Pasir (*gravel*) = 8.214 %
- Lanau (*silt*) = 41.878 %
- Lempung (*clay*) = 49.908 %

#### 4.4.1.3 Klasifikasi Tanah

Berdasarkan sifat-sifat fisik diatas, menurut USCS tanah natural + mikro biobakteri termasuk ke dalam kelompok tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang (CL) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-7-6

#### 4.4.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika dikenai beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural + mikro biobakteri.

##### 4.4.2.1 Hasil Pengujian Proctor Standar

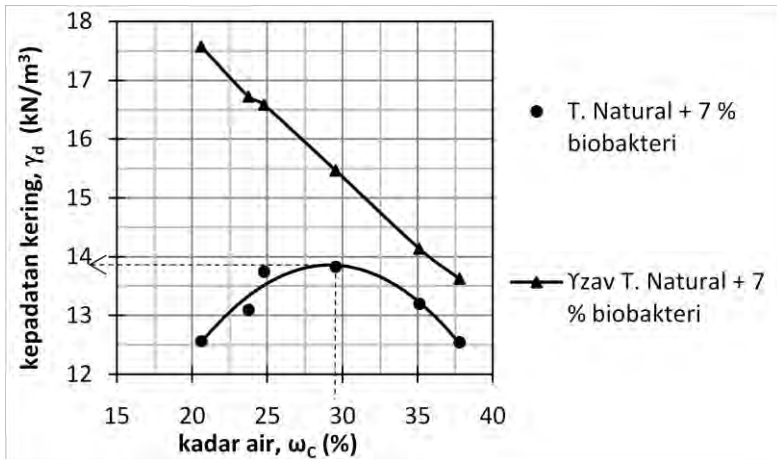
Hasil pengujian pemadatan terhadap tanah natural yang dicampur dengan 3%, 5%, 7%, dan 9 % mikro biobakteri yang dipadatkan dengan pemadatan standar dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil pengujian pemadatan standar tanah + mikro biobakteri

Kadar Mikro Biobakteri	$\gamma_d$ maks. (kN/m <sup>3</sup> )	$\omega_c$ opt. (%)
3 %	13.5	26.5
5 %	13.6	25.5
7 %	13.83	29
9 %	13.7	28.5

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari tabel 4.3 dapat dilihat kadar mikro biobakteri paling optimum yang digunakan untuk campuran adalah tanah + 7% mikro biobakteri dengan nilai kepadatan kering maksimum sebesar 13.83 kN/m<sup>3</sup> dan nilai kadar air optimum sebesar 29%, hasil penelitian dapat dilihat juga pada gambar 4.39.

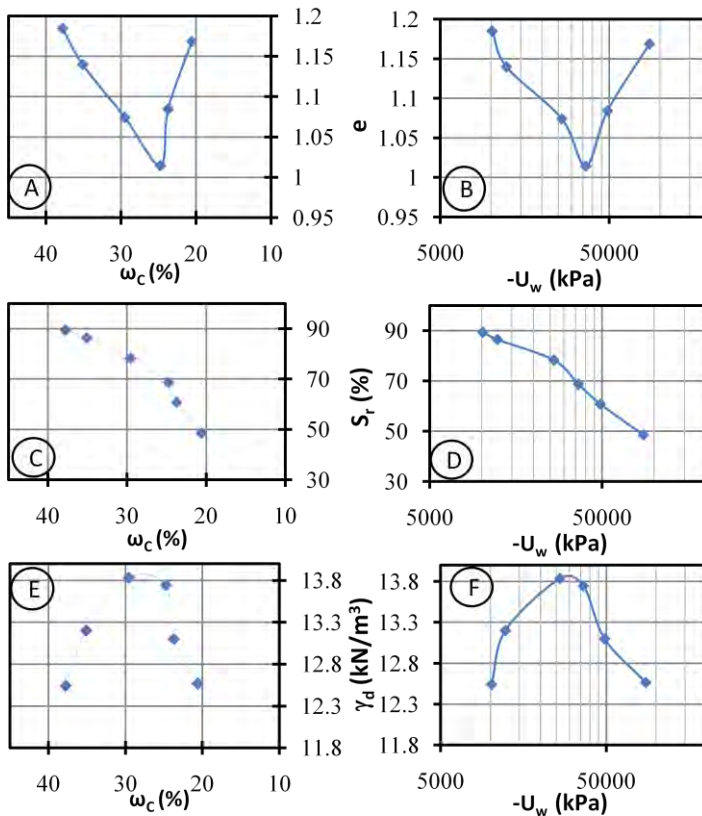


**Gambar 4.39** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural + mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.4.2.2 Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural + Mikro Biobakteri

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural + 7 % mikro biobakteri.





—◆ Natural + 7% biobakteri  $\gamma_{d \text{ maks}} = 13.83 \text{ kN/m}^3$ ,  $\omega_{c \text{ opt}} = 29 \%$

**Gambar 4.40** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **M. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.40A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Tampak bahwa nilai angka pori seiring bertambahnya kadar air semakin mengecil nilai angka porinya. Sampai kadar air optimum yaitu 29 % nilai angka pori memiliki nilai paling kecil yaitu sebesar 1,074. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut rongga pada tanah paling kecil sehingga kepadatan tanah paling maksimum. Setelah kondisi kepadatan tanah mencapai maksimum, jika kadar air terus bertambah maka angka nilai angka pori semakin meningkat.

#### **N. Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.40B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin kadar air bertambah semakin kecil nilai angka porinya sehingga nilai tegangan air pori negatif semakin meningkat sampai pada nilai angka pori paling kecil yaitu sebesar 1.074 nilai tegangan air pori negatifnya 26191.88 kPa. Hal ini disebabkan karena jika angka pori semakin kecil maka kadar air kertas filter whatman akan semakin kecil, semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya. Setelah mencapai kepadatan maksimum nilai tegangan air pori negatif terus menurun. Hal ini disebabkan karena kadar air kertas whatman semakin besar karena nilai angka pori yang semakin meningkat.

#### **O. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.40C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kadar air dengan derajat kejenuhan berbanding lurus, yaitu semakin besar kadar air

semakin meningkat derajat kejenuhannya. hal ini disebabkan tanah mengembang saat kadar air bertambah sehingga volume air membesar. Dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga nilai derajat kejenuhan pun ikut membesar. Sebaliknya derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil.

**P. Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.40D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin kecil tegangan air pori negatif semakin besar derajat kejenuhannya. Hal ini disebabkan kadar air tanah yang terus bertambah menyebabkan nilai derajat kejenuhan meningkat dan kadar air kertas whatman meningkat sehingga semakin kecil nilai tegangan air pori negatifnya.

**Q. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

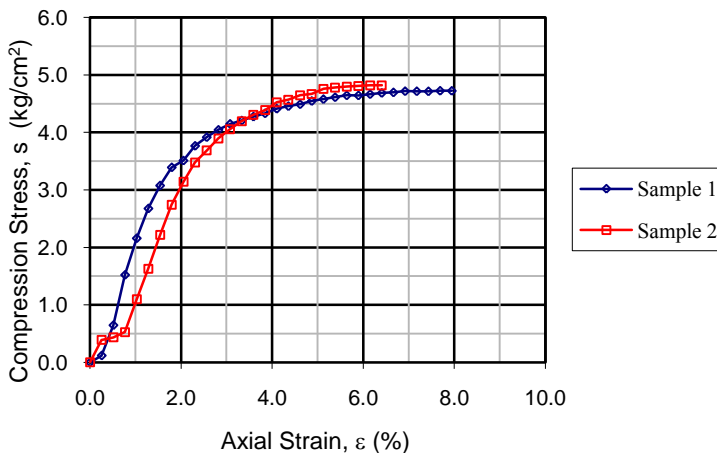
Gambar 4.40E dalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Tampak bahwa seiring bertambahnya kadar air semakin besar nilai kepadatan kering sampai kadar air optimum yaitu 29 % nilai kepadatan kering memiliki nilai paling besar yaitu sebesar  $13.83 \text{ kN/m}^3$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut rongga pada tanah paling kecil sehingga kepadatan tanah paling maksimum. Setelah kondisi kepadatan tanah mencapai maksimum, jika kadar air terus bertambah maka nilai kepadatan kering semakin menurun.

## R. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.40F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Tampak bahwa besarnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) akan bertambah jika kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) semakin naik. Hal ini disebabkan karena jika tanah yang memiliki kepadatan kering yang tinggi kadar air pada kertas filter Whatman akan semakin mengecil karena air yang terserap lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang memiliki kepadatan yang kecil. Semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya. Pada kondisi puncak yaitu kepadatan kering maksimum  $13.83 \text{ kN/m}^3$  nilai tegangan air pori negatifnya sebesar  $26191.88 \text{ kPa}$ .

### 4.4.2.3 Hasil Pengujian Triaksial

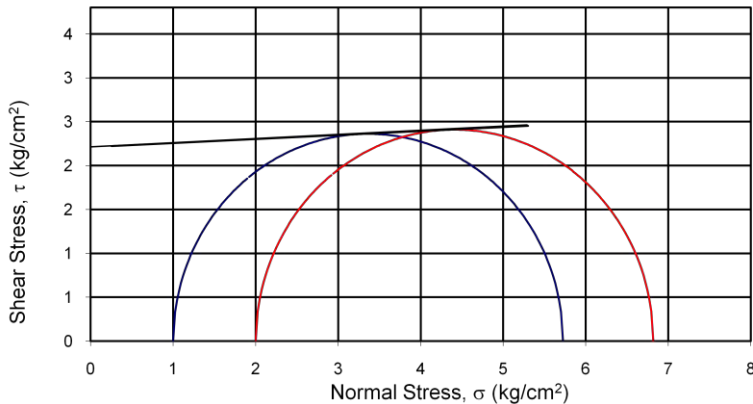
Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural + 7 % mikro biobakteri.



**Gambar 4.41** Hubungan antara *compression stress* dan *axial strain* pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari gambar 4.41 didapat nilai modulus elastisitas tanah natural + 7 % mikro biobakteri adalah :

- $E_1 = 230.235 \text{ kg/cm}^2 = 23023.5 \text{ kN/m}^2$
- $E_2 = 156.606 \text{ kg/cm}^2 = 15660.6 \text{ kN/m}^2$



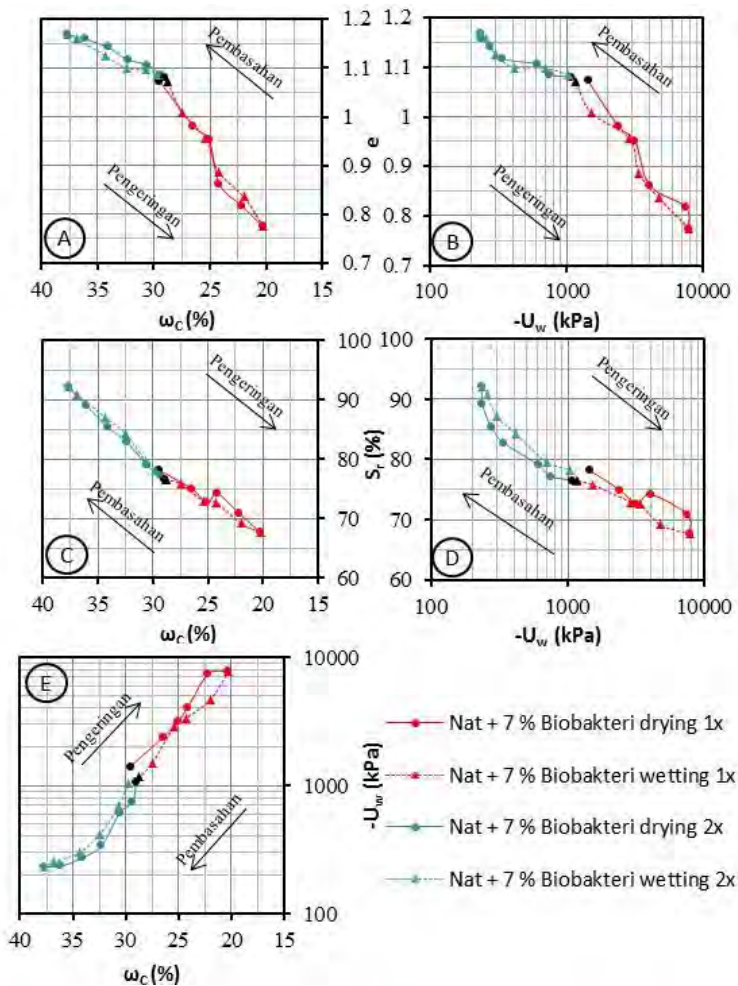
**Gambar 4.42** Hubungan antara *shear stress* dan *normal stress* pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari gambar 4.42 didapat nilai sudut geser dalam tanah dan kohesinya adalah :

- $\phi = 2.6^\circ$
- $c = 2.211 \text{ kg/cm}^2 = 221.1 \text{ kN/m}^2$

#### 4.4.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural + 7 % mikro biobakteri dari siklus pengeringan-pembasahan pada siklus pertama dan kedua.



**Gambar 4.43** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.4.3.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.43A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan pada proses berkurangnya kadar air dari kondisi awal (*drying*) nilai angka pori tanah natural menurun sebesar 17.64 %. Sedangkan, saat kadar air bertambah (*wetting*) nilai angka pori meningkat sebesar 23.639 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai angka pori meningkat 0.662 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### 4.4.3.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.43B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan pada proses berkurangnya kadar air dari kondisi awal (*drying*) nilai angka pori tanah natural menurun sebesar 17.64 % dan nilai tegangan air pori negatif meningkat 406.809 %. Sedangkan, saat kadar air bertambah (*wetting*) nilai angka pori meningkat sebesar 23.639 % dan nilai tegangan air pori negatif menurun 82.609 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai angka pori meningkat 0.662 % dan nilai tegangan air pori negatif menurun 24.543 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### 4.4.3.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.43C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan pada proses bertambahnya kadar air dari kondisi awal (*wetting*) nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 16.744 %. Sedangkan, jika kadar

air semakin kecil (*drying*) nilai derajat kejenuhan menurun 15.193 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai derajat kejenuhan menurun 2.112 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.4.3.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.43D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan pada proses bertambahnya kadar air dari kondisi awal (*wetting*) nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 16.744 % dan nilai tegangan air pori negatif meningkat 82.609 %. Sedangkan, jika kadar air semakin kecil (*drying*) nilai derajat kejenuhan menurun 15.193 % dan nilai tegangan air pori negatif meningkat 406.809 %.

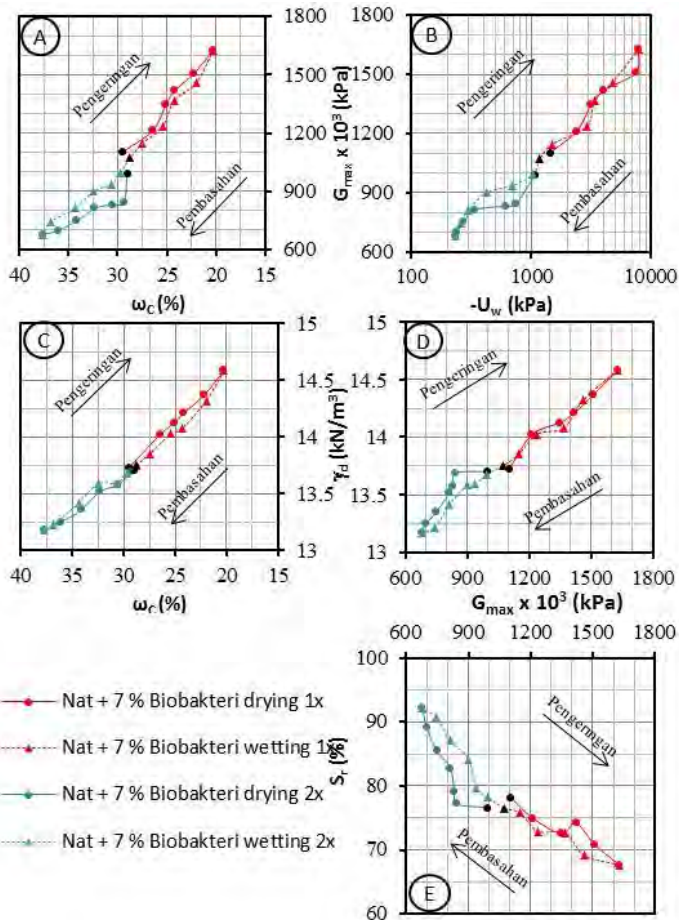
Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai derajat kejenuhan menurun 2.112 % dan nilai tegangan air pori negatif menurun 24.543 %. dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.4.3.5 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.43E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada gambar tersebut terlihat bahwa akibat kadar air yang berkurang (proses pengeringan) nilai tegangan air pori negatif meningkat 406.809 %. Akibat kadar air yang bertambah (proses pembasahan) nilai tegangan air pori negatif menurun 82.609 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai tegangan air pori negatif menurun 24.543 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.





**Gambar 4.44** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.4.3.6 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.44A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin naik kadar airnya (proses pembasahan) nilai modulus geser maksimum menurun 35.432 %. Sebaliknya semakin turun kadar airnya (proses pengeringan), nilai modulus geser maksimum meningkat 46.972 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai modulus geser maksimum menurun 9.985 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### 4.4.3.7 Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.44B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Semakin naik kadar airnya (proses pembasahan) nilai modulus geser maksimum menurun 35.432 % dan nilai tegangan air pori negatif meningkat 82.609 %. Sebaliknya semakin turun kadar airnya (proses pengeringan) nilai modulus geser maksimum meningkat 46.972 % dan nilai tegangan air pori negatif meningkat 406.809 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai tegangan air pori negatif menurun 24.543 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 9.985 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### 4.4.3.8 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.44C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan semakin kadar air bertambah (*wetting*) nilai kepadatan kering

menurun sebesar 4.959 %. Pada saat kadar air berkurang (*drying*) nilai kepadatan kering meningkat 5.144 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai kepadatan kering menurun 0.156 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.4.3.9 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

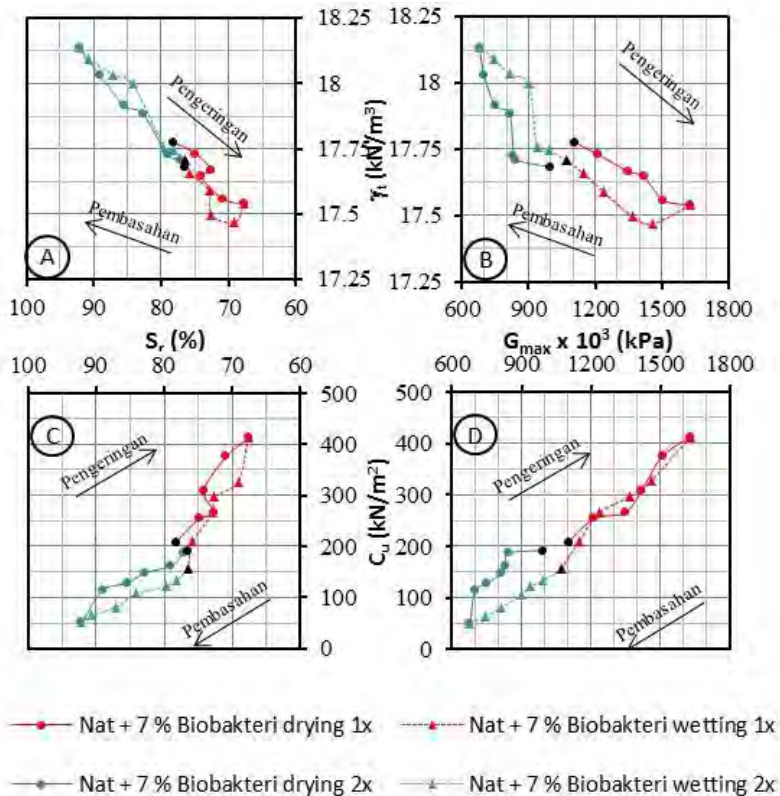
Gambar 4.44D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan semakin kadar air bertambah (*wetting*) nilai kepadatan kering menurun sebesar 4.959 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 35.432 %. Pada saat kadar air berkurang (*drying*) nilai kepadatan kering meningkat 5.144 % dan nilai modulus geser maksimum meningkat 46.972 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai kepadatan kering menurun 0.156 % dan modulus geser maksimum menurun 9.985 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.4.3.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.44E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan semakin kadar air bertambah (*wetting*) nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 16.744 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 35.432 %. Pada saat kadar air berkurang (*drying*) nilai derajat kejenuhan menurun 15.193 % dan nilai modulus geser maksimum meningkat 46.972 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai derajat kejenuhan menurun 2.112 % dan modulus geser maksimum menurun 9.985 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.



**Gambar 4.45** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural + 7% mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.4.3.11 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.45A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan akibat proses pembasahan nilai derajat kejenuhan meningkat 16.744 % dan berat volume tanah meningkat 1.691 %. Akibat proses pengeringan nilai derajat kejenuhan menurun 15.193 % dan berat volume tanah menurun 1.919%.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai berat volume tanah menurun 0.528 % dan nilai derajat kejenuhan meningkat 2.112 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.4.3.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.45B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan akibat proses pengeringan nilai berat volume tanah menurun sebesar 1.919 % dan nilai modulus geser maksimum meningkat 46.972 %. Pada saat kadar air bertambah (*wetting*) nilai berat volume tanah meningkat sebesar 1.691 % dan nilai modulus geser maksimum meningkat 35.432 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai berat volume tanah menurun 0.528 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 9.985 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.4.3.13 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.45C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada gambar tersebut menunjukkan akibat proses pembasahan nilai

derajat kejenuhan meningkat 16.744 % dan kohesi menurun 64.634 % sedangkan akibat proses pengeringan nilai derajat kejenuhan menurun 15.193 % dan kohesi meningkat 186.118 %

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai derajat kejenuhan menurun 2.112 % dan nilai kohesi menurun 7.987 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

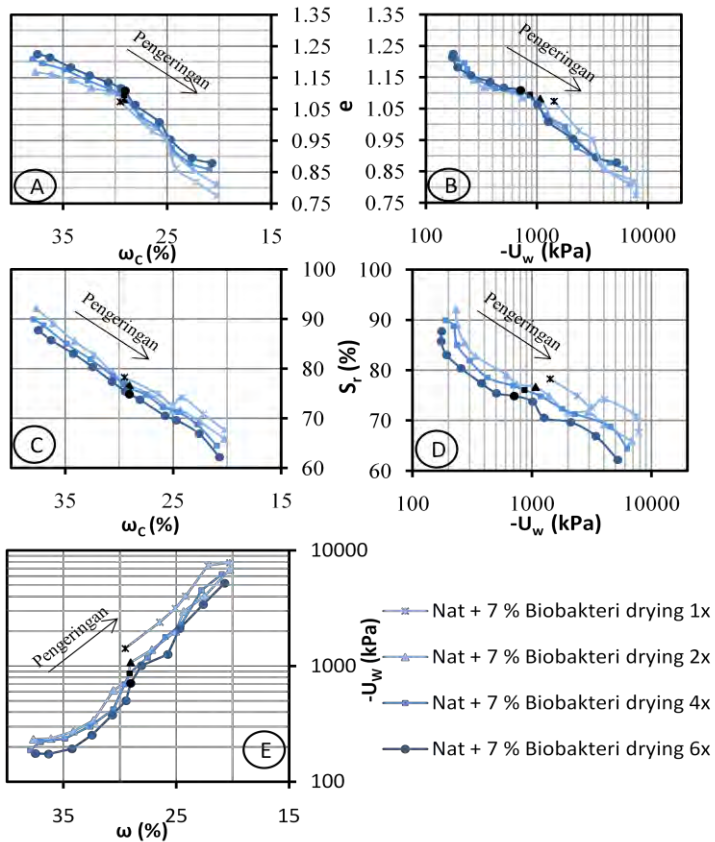
#### **4.4.3.14 Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.45D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada gambar tersebut menunjukkan akibat proses pembasahan nilai kohesi menurun 64.634 % dan modulus geser maksimum menurun 35.432 % sedangkan akibat proses pengeringan nilai kohesi meningkat 186.118 % dan modulus geser maksimum meningkat 46.972 %.

Dari kurva tersebut juga menunjukkan nilai modulus geser maksimum menurun 9.985 % dan nilai kohesi menurun 7.987 % dari kondisi awal akibat mengalami proses pengeringan-pembasahan siklus 1x dan 2x.

#### **4.4.4 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang pada Siklus 1x, 2x, 4x dan 6x**

Seiring penambahan proses pengeringan (pengeringan berulang) yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.46, 4.47, dan 4.48.



**Gambar 4.46** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 7% mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.4.4.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.46A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan jumlah proses pengeringan mengakibatkan nilai angka pori tanah natural membesar. Akibat proses pengeringan berulang nilai angka pori meningkat 8.529 %.

#### **4.4.4.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.46B adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural nilai angka pori semakin membesar dan nilai tegangan air pori negatif menurun. Akibat pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif menurun 50.469 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.46C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural nilai derajat kejenuhan mengalami penurunan. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.46D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan dengan tegangan air pori negatif (*suction*) pada tanah natural + 7% mikro



biobakteri. Pada gambar terlihat bahwa semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dan nilai tegangan air pori negatif menurun 50.469 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.5 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

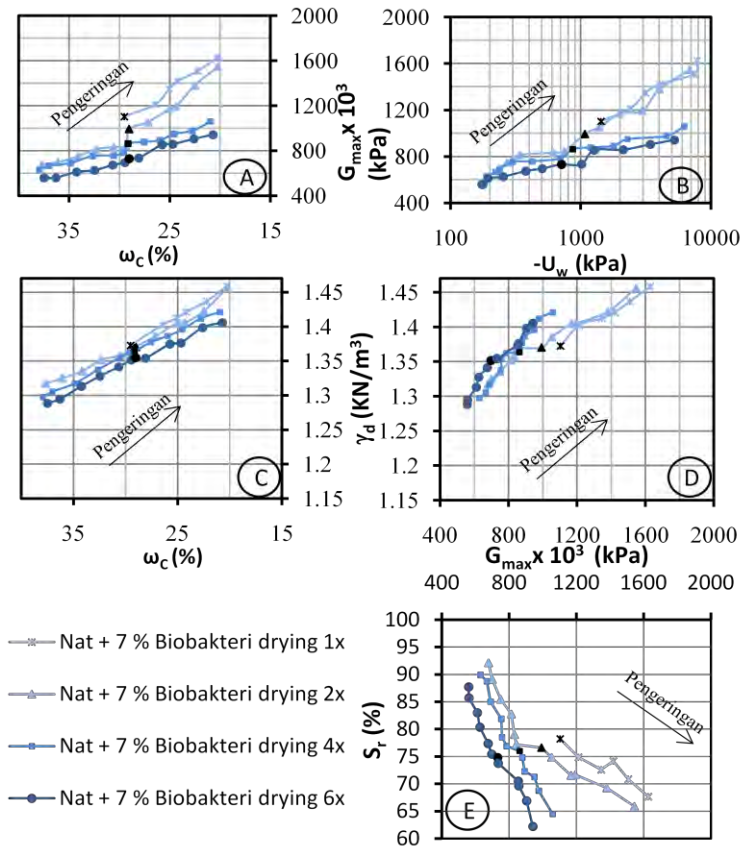
Gambar 4.46E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dan tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif semakin turun dengan kadar air yang cenderung naik turun. Akibat pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif menurun 50.469 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.6 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.47A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Akibat pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.7 Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.47B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada kurva tersebut terlihat bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin turun.



**Gambar 4.47** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 7% mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Akibat pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dan nilai tegangan air pori negatif menurun 50.469 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.8 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

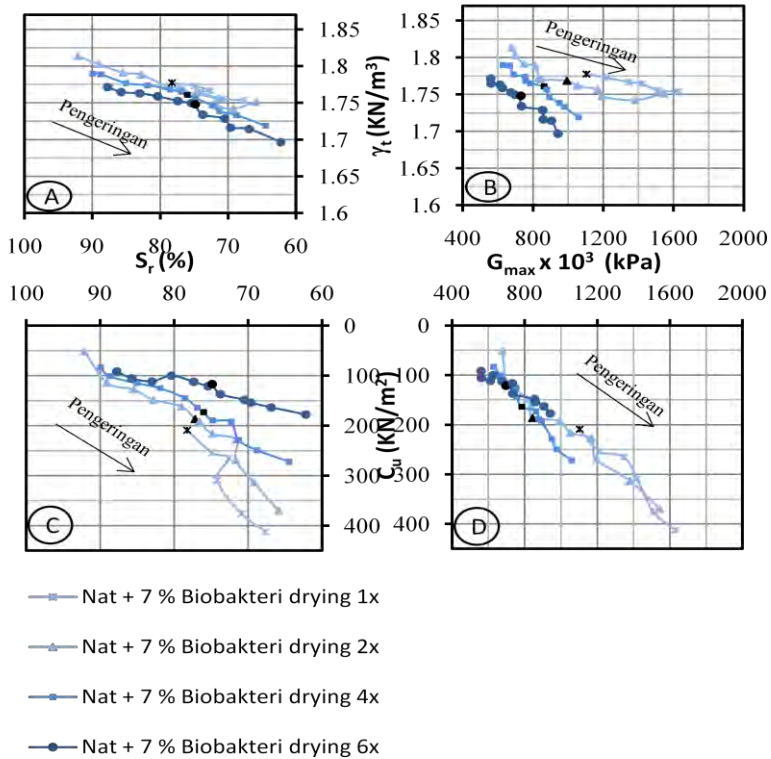
Gambar 4.47C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kadar air terhadap kepadatan kering pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan nilai kepadatan kering akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Akibat pengeringan berulang nilai kepadatan kering menurun 2.809 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.9 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.47D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Dari kurva tersebut terlihat bahwa akibat proses pengeringan yang berulang nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum mengalami penurunan. Akibat pengeringan berulang nilai kepadatan kering menurun 2.809 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.47E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Dari kurva tersebut terlihat bahwa akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai derajat kejenuhan dan nilai modulus geser maksimum mengalami penurunan. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dari kondisi awal.



**Gambar 4.48** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural + 7% mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.4.4.11 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.48A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai berat volume tanah menurun 2.389 % dan nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.48B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.13 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.48C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada gambar tersebut menunjukkan semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka derajat kejenuhan dan kohesi semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dan nilai kohesi menurun 49.68 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.14 Hubungan Antara Nilai Modulus Geser ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.48D adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada gambar tersebut menunjukkan semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka modulus geser maksimum dan kohesi semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dan nilai kohesi menurun 49.68 % dari kondisi awal.

### **4.5 Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural dengan Tanah yang Distabilisasi**

Pada bagian ini akan dibahas tentang perbandingan hasil pengujian masing-masing tanah yang distabilisasi dengan tanah natural. Baik pengujian sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan pengujian akibat proses *drying-wetting*.

#### **4.5.1 Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural + 6% Kapur**

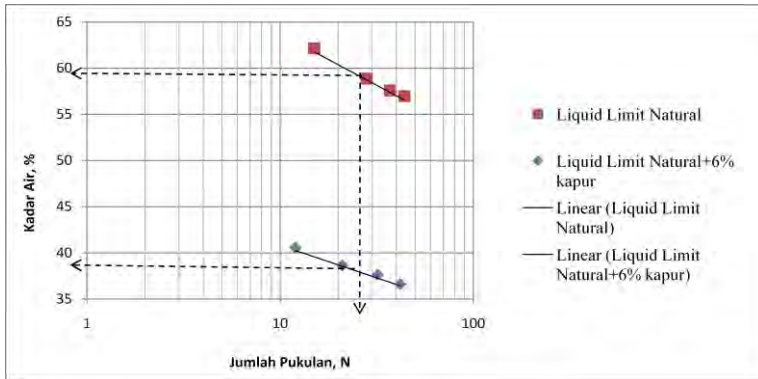
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

##### **4.5.1.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik**

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur.

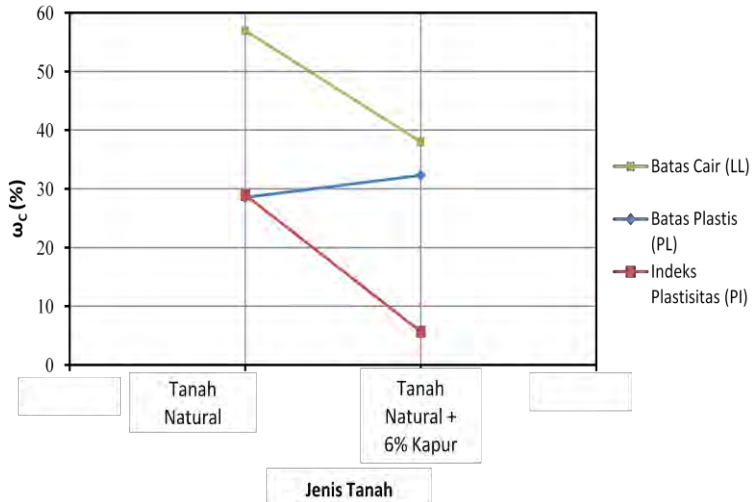
#### **A. Hasil Pengujian *Atterberg Limits***

Pengujian *Atterberg limits* tanah natural dan tanah natural + 6% kapur terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.49.



**Gambar 4.49** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.49 untuk tanah natural kadar air pada ketukan ke 25 adalah 57 % dan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 25.958 %. Sedangkan untuk tanah natural + 6% kapur kadar air pada ketukan ke 25 adalah 38 % dan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 32.317 %. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Sehingga dari hasil pengujian didapat nilai indeks plastisitas tanah natural sebesar 31.042 % dan nilai indeks plastisitas tanah natural + 6% kapur sebesar 5.683 %.



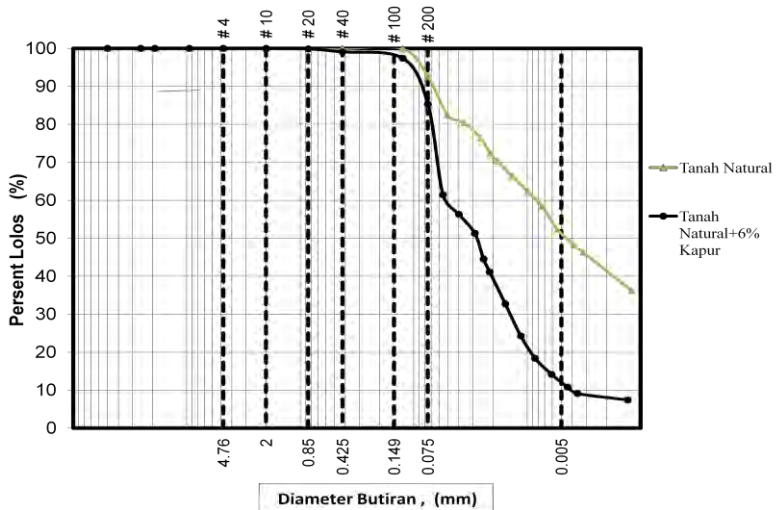
**Gambar 4.50** Hasil pengujian batas batas Atterberg pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.50 nilai batas cair tanah natural + 6% kapur menurun 33.33 %, batas plastis menurun 13.249 %, nilai indeks plastisitas menurun 80.379 % dari tanah natural.

## B. Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur dapat dilihat pada gambar 4.51.





**Gambar 4.51** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butiran diatas didapat persentase masing-masing fraksi tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Persentase fraksi tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur

Fraksi Tanah	Jenis Tanah	
	natural	natural + 6% kapur
Kerikil ( <i>Gravel</i> )	0%	0%
Pasir ( <i>Sand</i> )	7.31%	14.668%
Lanau ( <i>Silt</i> )	56.487%	77.908%
Lempung ( <i>Clay</i> )	36.203%	7.424%

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### C. Klasifikasi Tanah

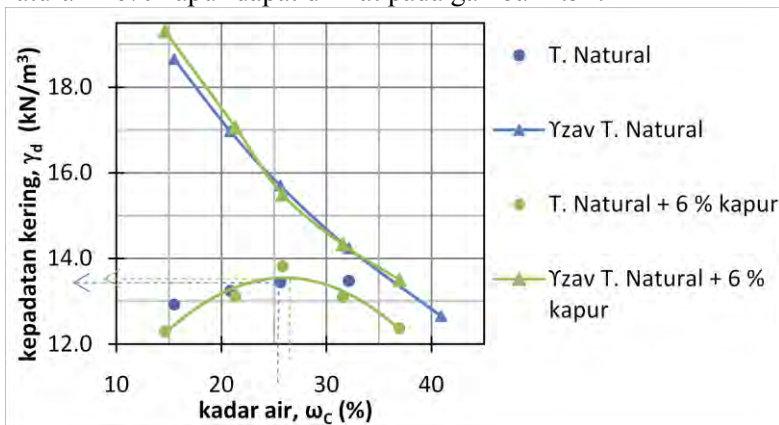
Berdasarkan sifat-sifat fisik diatas, menurut USCS tanah natural termasuk ke dalam kelompok tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-7-6. Setelah adanya penambahan 6% kapur, tanah natural mengalami peningkatan klasifikasi tanah menurut USCS termasuk ke dalam kelompok tanah lanau anorganik dengan plastisitas rendah (ML) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-4.

#### 4.5.1.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika dikenai beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur.

#### A. Hasil Pengujian Proctor Standar

Hasil pengujian Proctor standar dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur dapat dilihat pada gambar 4.52.



**Gambar 4.52** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan grafik pemadatan tanah natural diatas didapat nilai kepadatan kering maksimum sebesar  $13.45 \text{ kN/m}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 26%. Sedangkan tanah natural + 6% kapur didapat nilai kepadatan kering maksimum sebesar  $13.65 \text{ kN/m}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 27%.

## **B. Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural dan Tanah Natural + 6% kapur**

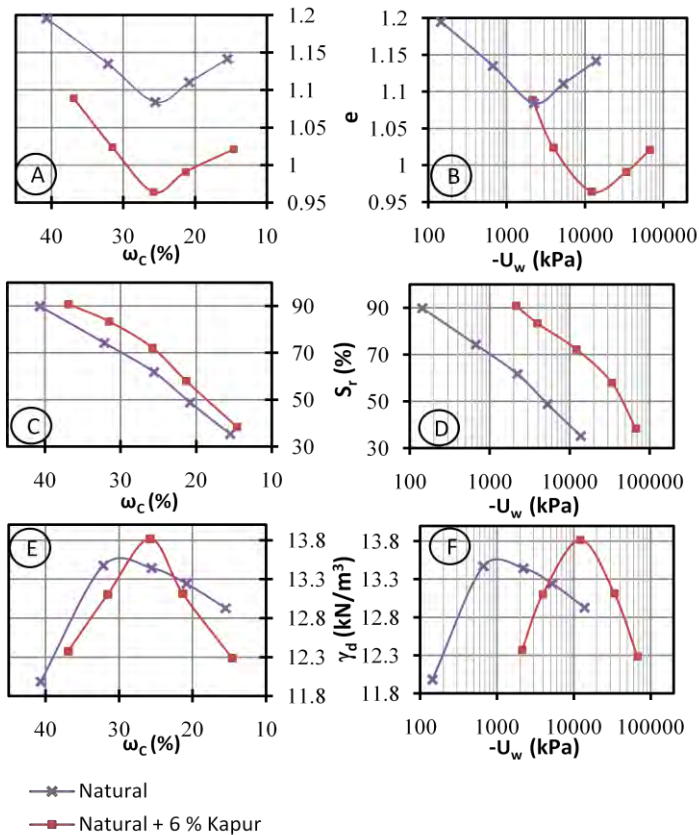
Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur.

### **a) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.53A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Tampak bahwa untuk kadar air yang sama (misal 25 %) tanah natural memiliki angka pori sebesar 1.084 setelah distabilisasi dengan 6% kapur berkurang menjadi 0.964. Perubahan nilai tersebut menunjukkan angka pori natural + 6% kapur cenderung lebih kecil dibandingkan tanah natural, yang diakibatkan oleh berat butiran solid yang meningkat. Hal ini berarti bahwa benda uji yang distabilisasi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan benda uji natural.

### **b) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.53B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Dalam gambar 4.5B ditunjukkan bahwa untuk tegangan air pori negatif yang sama, angka pori tanah natural lebih besar dibanding dengan angka pori tanah natural + 6% kapur. Hal ini disebabkan karena jika angka pori semakin kecil maka kadar air kertas filter whatman akan semakin kecil, semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.



Tanah Natural :  $\gamma_{d \text{ maks}} = 13.45 \text{ kN/m}^3$ ,

$\omega_{c \text{ opt}} = 26 \%$

Tanah Natural + 6% kapur :  $\gamma_{d \text{ maks}} = 13.65 \text{ kN/m}^3$ ,

$\omega_{c \text{ opt}} = 27 \%$

**Gambar 4.53** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**c) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.53C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Semakin besar kadar air semakin meningkat derajat kejenuhannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa, sebagai contoh untuk kadar air sebesar  $\pm 25\%$ , tanah natural memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 61.722\%$  dan tanah natural + 6% kapur memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 72.254\%$ . Hal ini disebabkan tanah mengembang saat kadar air bertambah sehingga volume air membesar. Dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga nilai derajat kejenuhan pun ikut membesar. Sebaliknya derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil.

**d) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.53D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Semakin kecil tegangan air pori negatif semakin besar derajat kejenuhannya. Untuk derajat kejenuhan sebesar 70%, tanah natural memiliki tegangan air pori negatif sebesar 1198.553 kPa dan tanah natural + 6% kapur memiliki tegangan air pori negatif sebesar 15476.880 kPa. Terlihat bahwa tanah natural yang telah distabilisasi tegangan air pori negatifnya meningkat. Hal ini disebabkan kadar air tanah yang terus bertambah menyebabkan nilai derajat kejenuhan meningkat dan kadar air kertas whatman meningkat sehingga semakin kecil nilai tegangan air pori negatifnya.

**e) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.53E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tanah

natural + 6 % kapur memiliki kepadatan kering maksimum lebih besar yaitu  $13.65 \text{ kN/m}^3$  dari pada tanah natural sebesar  $13.45 \text{ kN/m}^3$ . Hal ini menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan bahan tambah kapur dapat meningkatkan kepadatan tanah.

**f) Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.53F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tanah natural + 6 % kapur memiliki tegangan air pori negatif lebih besar yaitu 12094.587 kPa dari pada tanah natural sebesar 2217.531 kPa. Tampak bahwa besarnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) akan bertambah jika kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) semakin naik. Hal ini disebabkan karena jika tanah yang memiliki kepadatan kering yang tinggi kadar air pada kertas filter Whatman akan semakin mengecil karena air yang terserap lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang memiliki kepadatan yang kecil. Semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

**C. Hasil Pengujian Triaksial**

Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* tanah natural dan tanah natural + 6% kapur

Parameter	Jenis Tanah	
	natural	natural + 6% kapur
$\phi$ ( $^\circ$ )	4.3	1.8
c ( $\text{kN/m}^2$ )	55.6	589
$E_1$ ( $\text{kN/m}^2$ )	3970.8	117712
$E_2$ ( $\text{kNm}^2$ )	3810.86	118349.4

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

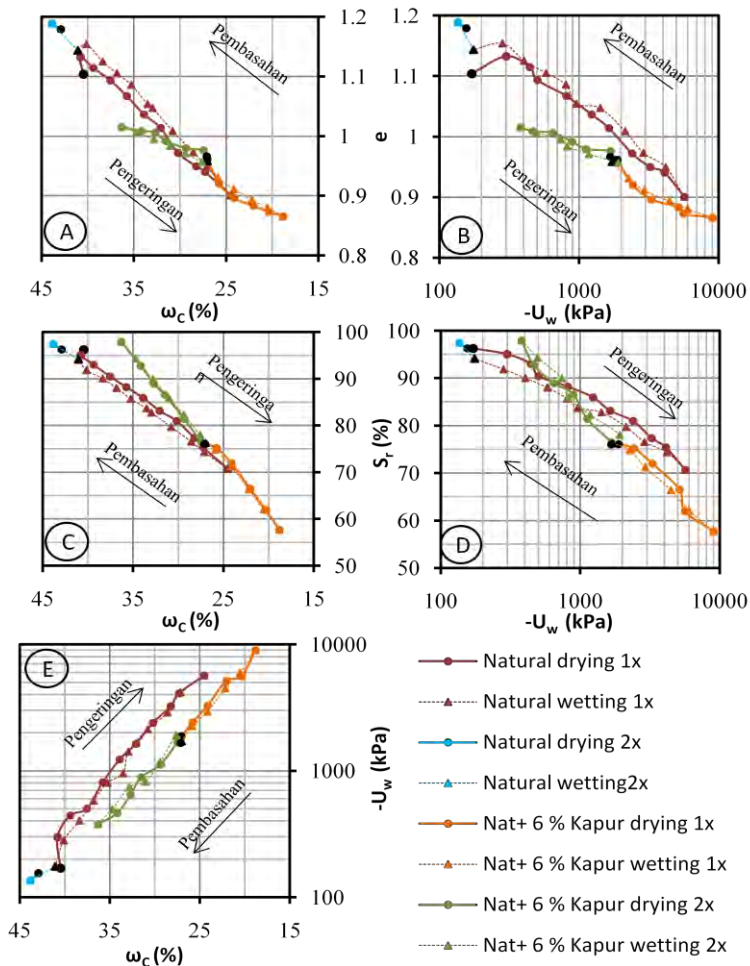
#### 4.5.1.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur dari siklus pengeringan-pembasahan pada siklus pertama dan kedua.

##### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.54A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Pada kurva tersebut menunjukkan nilai angka pori saat kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) pada tanah natural + 6% kapur sebesar 0.958 lebih kecil dibandingkan pada tanah natural yang sebesar 1.144. Hal ini disebabkan pengaruh bahan stabilisasi diatas pada tanah menyebabkan volume pori mengecil dan volume solid meningkat. Dimana angka pori adalah perbandingan antara volume pori dengan volume solid ( $e = V_v/V_s$ ), sehingga angka pori menurun.

Jika dilihat pada kadar air yang sama (contoh  $\pm 34\%$ ) nilai angka pori tanah natural sebesar 1.037 dan tanah natural + 6 % kapur sebesar 1.006. Angka pori pada tanah natural + 6 % kapur lebih kecil dibandingkan tanah natural. Akibat penambahan 6 % kapur nilai angka pori menurun sebesar 2.279% dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena kapur yang bersifat mengikat.



**Gambar 4.54** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



### **B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.54B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan juga bahwa tegangan air pori negatif pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x) pada tanah natural + 6% kapur sebesar 1713.300 kPa lebih besar dibandingkan pada tanah natural sebesar 175.131 kPa. Akibat penambahan 6 % kapur nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 55.893% dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat.

### **C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.54C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa pada kadar air yang sama (contoh  $\pm 36\%$ ) nilai derajat kejenuhan pada tanah natural sebesar 88.233 % dan pada tanah natural + 6 % kapur sebesar 97.924 %. Nilai derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur lebih besar dibandingkan dengan tanah natural. Akibat penambahan 6 % kapur nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 8.336% dari tanah natural. Hal ini disebabkan ruang pori tanah yang distabilisasi lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural. Sehingga pada volume air yang sama dan volume pori yang lebih kecil maka derajat kejenuhan akan lebih besar.

Akan tetapi jika dilihat pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x) nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6 % kapur sebesar 76.280 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 %. Hal ini disebabkan kadar air titik inisial *wetting* tanah natural lebih besar dibandingkan dengan tanah yang

distabilisasi. Semakin besar kadar air berarti berat air dan volume air besar sehingga menyebabkan nilai derajat kejenuhan besar.

#### **D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.54D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk nilai derajat kejenuhan yang sama, nilai tegangan air pori negatif tanah natural lebih besar dibanding nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur. Sebagai contoh untuk nilai derajat kejenuhan sebesar 80 %, tanah natural memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 2620.772 kPa dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 1570.705 kPa.

Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*), nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6% kapur sebesar 76.280 % lebih kecil dari tanah natural sebesar 94.144 %, sedangkan untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur sebesar 1713.300 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Akibat penambahan 6 % kapur nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 8.336% dan nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 55.893% dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat.

#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_s$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

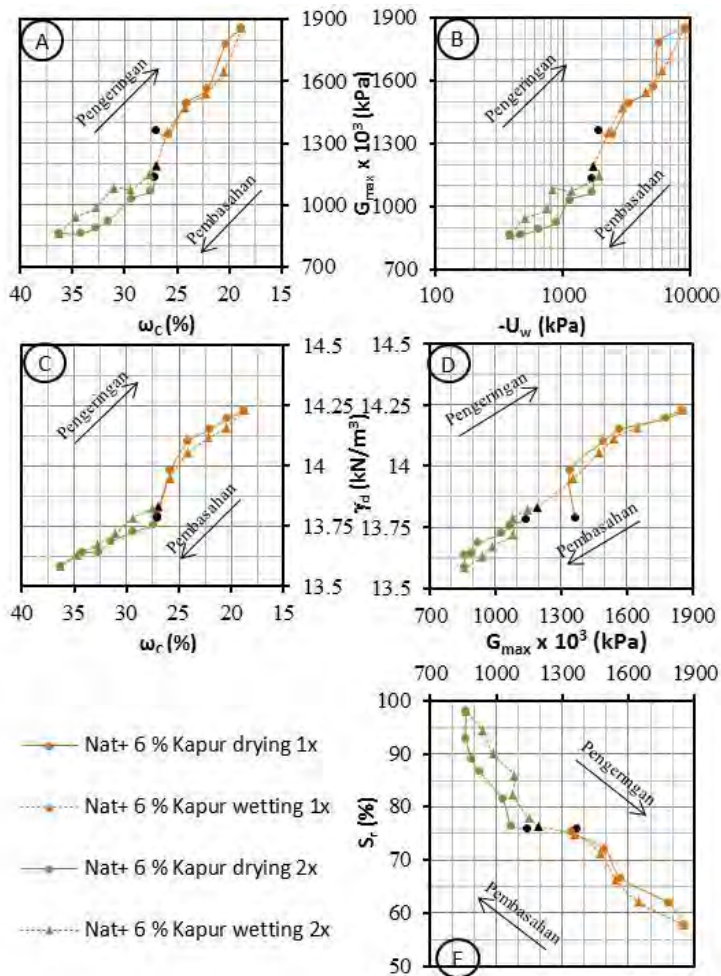
Gambar 4.54E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk nilai kadar air yang sama, nilai tegangan air pori negatif tanah natural lebih besar dibanding nilai tegangan air pori

negatif tanah natural + 6% kapur. Sebagai contoh untuk nilai kadar air sebesar 25 %, tanah natural memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 5408.659 kPa dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 2873.359 kPa.

Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur sebesar 1713.300 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Akibat penambahan 6 % kapur nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 55.893% dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat.

#### **F. Hubungan Anatara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.55A adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk nilai kadar air yang sama, nilai modulus geser maksimum tanah + 6% kapur lebih besar dibanding nilai modulus geser maksimum tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai kadar air sebesar 25 %, tanah natural memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 1159.624 kPa dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 1414.282 kPa. Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai modulus geser maksimum tanah + 6% kapur sebesar  $1190.758 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa. Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dari tanah natural.



**Gambar 4.55** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### **G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.55B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk nilai tegangan air pori negatif sebesar 2000 kPa, tanah natural memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 886.862 kPa dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 1357.877 kPa.

Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai modulus geser maksimum tanah + 6% kapur sebesar 1190.758 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 305.149 kPa, begitu juga dengan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur sebesar 1713.300 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dan nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 55.893% dari tanah natural.

### **H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.55C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Pada kadar air yang sama  $\pm 25\%$  nilai kepadatan kering tanah natural 13.655 kN/m<sup>3</sup> dan tanah natural + 6% kapur 13.981 kN/m<sup>3</sup>. Terlihat bahwa nilai kepadatan kering tanah + 6% kapur lebih besar dibandingkan dengan tanah natural.

Pada kurva tersebut menunjukkan nilai kepadatan kering saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 6% kapur sebesar 13.66 kN/m<sup>3</sup> lebih besar dibandingkan tanah natural 12.23 kN/m<sup>3</sup>. Akibat penambahan 6 % kapur nilai kepadatan kering meningkat sebesar 4.887% dari tanah natural. Hal ini disebabkan pengaruh kapur pada tanah menyebabkan volume pori mengecil dan volume solid meningkat.

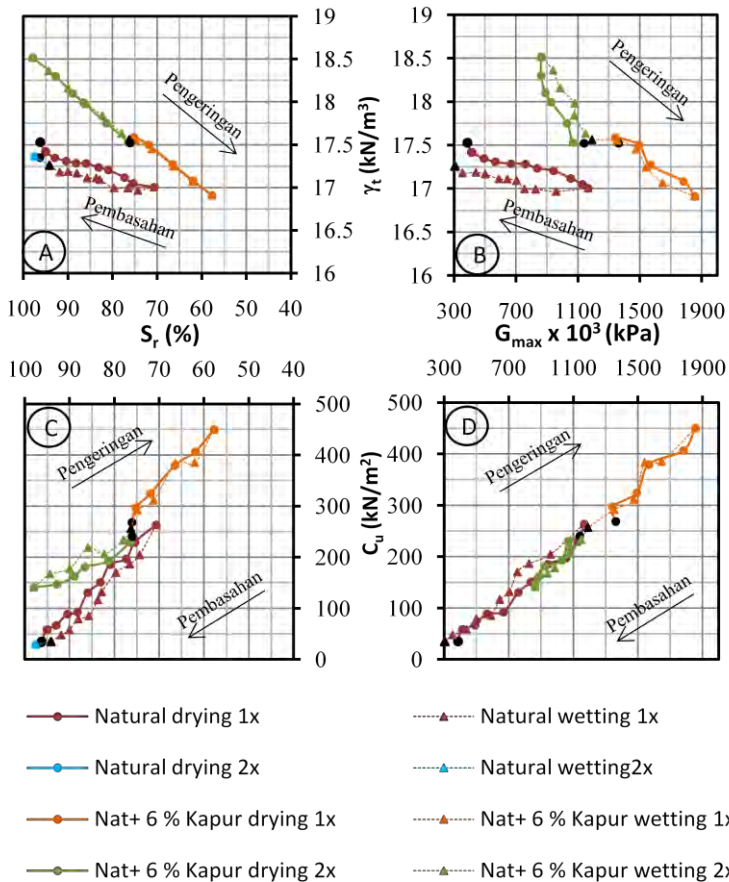
### **I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.55D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk kepadatan kering yang sama  $\pm 13.655 \text{ kN/m}^3$  nilai modulus geser maksimum tanah natural  $1166.207 \times 10^3 \text{ kPa}$  dan tanah natural + 6% kapur  $1362.417 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Terlihat bahwa tanah + 6% kapur memiliki modulus geser maksimum yang lebih besar dari pada tanah natural.

Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai kepadatan kering saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 6% kapur sebesar  $13.66 \text{ kN/m}^3$  lebih besar dibandingkan tanah natural  $12.23 \text{ kN/m}^3$  dan nilai modulus geser maksimum tanah + 6% kapur sebesar  $1190.758 \times 10^3 \text{ kPa}$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dan nilai kepadatan kering meningkat sebesar 4.887% dari tanah natural.

### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.55E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk derajat kejenuhan yang sama  $\pm 70 \%$  nilai modulus geser maksimum tanah natural  $1166.207 \times 10^3 \text{ kPa}$  dan tanah natural + 6% kapur  $1492.834 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Terlihat bahwa nilai modulus geser saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 6% kapur sebesar  $1190.758 \times 10^3 \text{ kPa}$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3 \text{ kPa}$  dan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6 % kapur sebesar 76.280 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 %. Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dan nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 8.336% dari tanah natural.



**Gambar 4.56** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.56A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa nilai derajat kejenuhan saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*) tanah + 6% kapur sebesar 76.280 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 % dan nilai berat volume tanah natural + 6 % kapur sebesar 17.56 kN/m<sup>2</sup> lebih besar dibandingkan dengan tanah natural 17.26 kN/m<sup>2</sup>. Akibat penambahan 6 % kapur nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 8.336% dan nilai berat volume tanah meningkat sebesar 5.385% dari tanah natural.

### L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.56B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai modulus geser saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*) tanah + 6% kapur sebesar  $1190.758 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa. Begitu juga dengan nilai berat volume tanah natural + 6 % kapur sebesar 17.56 kN/m<sup>2</sup> lebih besar dibandingkan dengan tanah natural 17.26 kN/m<sup>2</sup>. Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dan nilai berat volume tanah meningkat sebesar 5.385% dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena tanah yang distabilisasi lebih rapat dan padat dibandingkan dengan tanah natural.

### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

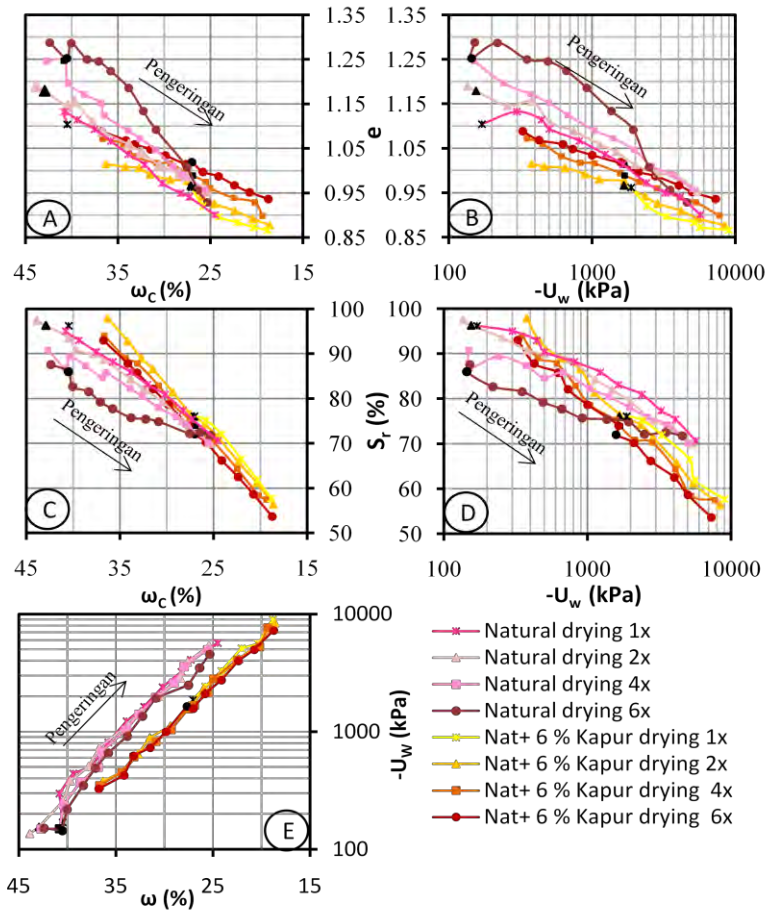
Gambar 4.56C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur.



Untuk nilai derajat kejenuhan yang sama, nilai kohesi tanah natural + 6% kapur lebih besar dibanding nilai kohesi tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai derajat kejenuhan sebesar 80 %, tanah natural memiliki nilai kohesi sebesar 188.543 kN/m<sup>2</sup> dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai kohesi sebesar 220.377 kN/m<sup>2</sup>. Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai kohesi tanah natural + 6% kapur sebesar 256.516 kN/m<sup>2</sup> lebih besar dari tanah natural sebesar 34.822 kN/m<sup>2</sup>, begitu juga dengan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6% kapur 76.280 % lebih kecil dari tanah natural 94.144% . Akibat penambahan 6 % kapur nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 8.336% dan nilai kohesi meningkat sebesar 30.879% dari tanah natural.

#### **N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.56D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk nilai modulus geser maksimum yang sama, nilai kohesi tanah natural + 6% kapur lebih kecil dibanding nilai kohesi tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai modulus geser maksimum sebesar 1100 kPa, tanah natural memiliki nilai kohesi sebesar 216.922 kN/m<sup>2</sup> dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai kohesi sebesar 214.572 kN/m<sup>2</sup>. Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai modulus geser maksimum tanah + 6% kapur sebesar  $1190.758 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa, begitu juga dengan nilai kohesi tanah natural + 6% kapur sebesar 256.516 kN/m<sup>2</sup> lebih besar dari tanah natural sebesar 34.822 kN/m<sup>2</sup>. Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dan nilai kohesi meningkat sebesar 30.879% dari tanah natural.



**Gambar 4.57** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural+ 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.5.1.4 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang pada Siklus 1x, 2x, 4x dan 6x**

Seiring penambahan proses pengeringan (pengeringan berulang) yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.57, 4.58, dan 4.59.

##### **A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.57A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Terlihat pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial), akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai angka pori tanah natural + 6% kapur cenderung lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Nilai angka pori tanah natural berturut-turut adalah 1.104, 1.179, 1.247 dan 1.253, tanah natural + 6% kapur adalah 0.962, 0.966, 0.989 dan 1.019. Akibat proses pengeringan berulang nilai angka pori pada tanah natural meningkat 10.669 % dan tanah natural + 6% kapur meningkat 8.494 %. Hal ini membuktikan akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan angka pori meningkat dari kondisi semula. Peningkatan angka pori disebabkan oleh molekul dalam tanahnya semakin renggang. Penambahan bahan stabilisasi diatas mengakibatkan berat butiran padat bertambah sehingga pengaruh stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah diatas dapat memperbaiki sifat fisik (angka pori) tanah natural.

##### **B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar, 4.57B adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural

maupun tanah + 6% kapur, nilai angka pori semakin membesar dan nilai tegangan air pori negatif menurun. Terlihat pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial), akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai angka pori tanah natural + 6% kapur cenderung lebih kecil dibandingkan pada tanah natural sehingga kadar air kertas filter whatman menurun sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Nilai tegangan air pori negatif tanah natural berturut-turut adalah 170.221, 154.978, 150.229 dan 144.038 kPa, tanah natural + 6% kapur adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Akibat proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif pada tanah natural menurun 18.465 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%. Hal ini disebabkan karena angka pori yang besar menyebabkan kadar air kertas whatman membesar sehingga nilai tegangan air pori negatif akan kecil.

### **C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.57C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural maupun tanah natural + 6% kapur, nilai angka derajat kejenuhan mengecil karena volume pori yang meningkat. Akibat proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.880 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%.

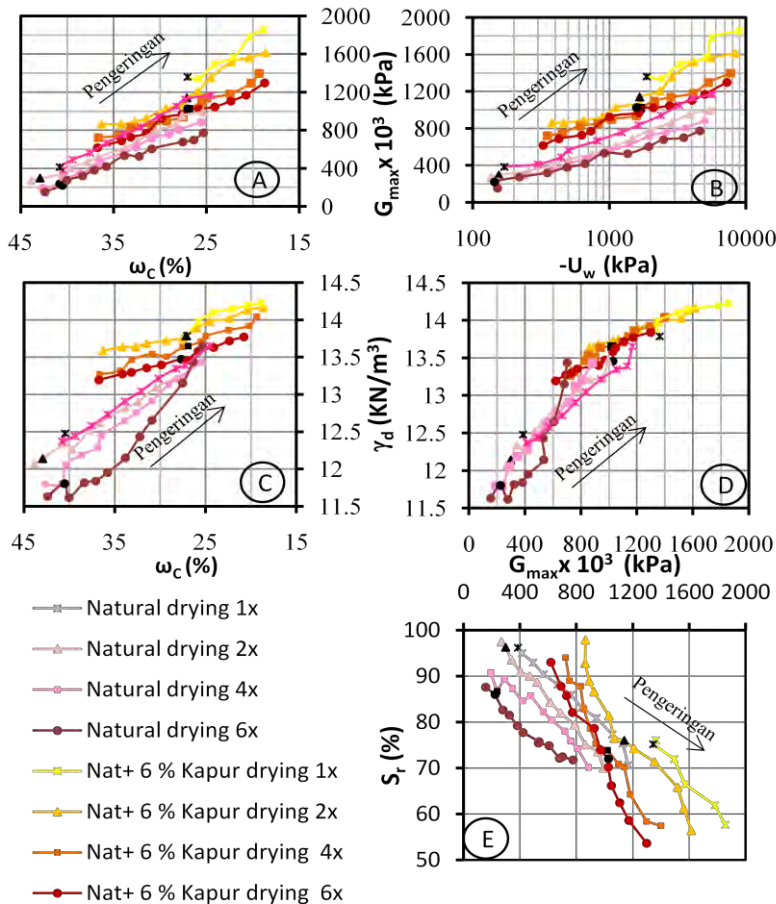
### **D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.57D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa semakin banyak proses

pengeringan, maka tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai tegangan air pori negatif tanah natural setelah distabilisasi menurun, nilai tegangan air pori negatif tanah natural berturut-turut adalah 170.221, 154.978, 150.229 dan 144.038 kPa, tanah natural + 6% kapur adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Begitu juga nilai derajat kejenuhannya menurun, nilai derajat kejenuhan tanah natural berturut-turut adalah 96.259, 96.308, 86.778 dan 86.040 %, tanah natural + 6% kapur adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Akibat proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif pada tanah natural menurun 18.465 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%. Begitu juga nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.880 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%.

#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.57E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (suction) dengan kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa semakin banyak proses pengeringan, maka tegangan air pori negatif semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai tegangan air pori negatif tanah natural setelah distabilisasi meningkat, nilai tegangan air pori negatif tanah natural berturut-turut adalah 170.221, 154.978, 150.229 dan 144.038 kPa, tanah natural + 6% kapur adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Akibat proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif pada tanah natural menurun 18.465 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%.



**Gambar 4.58** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural+ 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.58A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Proses yang berulang menyebabkan rongga pada tanah menjadi besar sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menghantarkan sinyal semakin banyak atau lebih lambat sehingga menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%. Hal membuktikan akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun yang diakibatkan oleh cepat rambat sinyal yang menurun.

#### **G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.58B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai tegangan air pori negatif tanah natural setelah distabilisasi meningkat, nilai tegangan air pori negatif tanah natural berturut-turut adalah 170.221, 154.978, 150.229 dan 144.038 kPa, tanah natural + 6% kapur adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Begitu juga dengan nilai modulus geser maksimum menurun, nilai modulus geser maksimum tanah natural berturut-turut adalah  $384.898 \times 10^3$ ,  $296.832 \times 10^3$ ,  $236.569 \times 10^3$  dan  $222.801 \times 10^3$  kPa, tanah natural + 6% kapur adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Akibat proses pengeringan

berulang nilai tegangan air pori negatif pada tanah natural menurun 18.465 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%. Begitu juga nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%.

#### **H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.58C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan tanah natural maupun tanah natural + 6% kapur pada saat mengalami pengeringan kepadatan keringnya akan meningkat sehingga masa tanah semakin padat. Pada kondisi tanah inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai kepadatan kering tanah natural berturut-turut adalah 12.480, 12.139, 11.796 dan 11.805 kN/m<sup>3</sup> dan tanah natural + 6% kapur adalah 13.789, 13.704, 13.637 dan 13.548 kN/m<sup>3</sup>. Terlihat bahwa akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai kepadatan kering akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Akibat proses pengeringan berulang nilai kepadatan kering pada tanah natural menurun 4.052 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 2.877%.

#### **I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

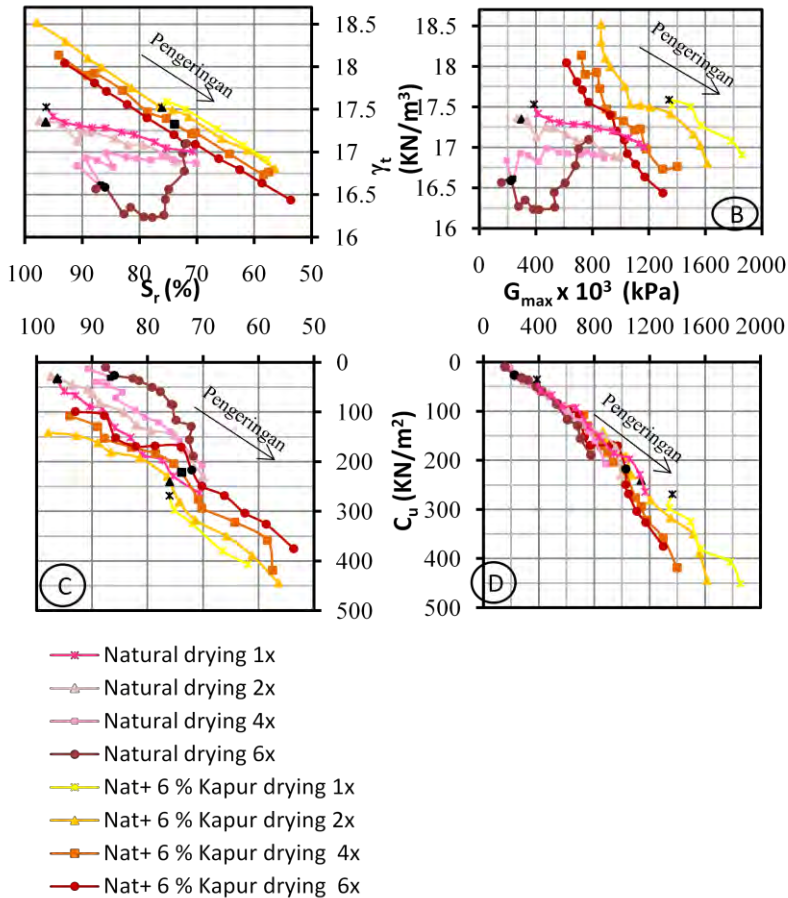
Gambar 4.58D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai modulus geser maksimum dan nilai kepadatan kering akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai modulus geser maksimum menurun, nilai modulus geser maksimum tanah natural berturut-turut adalah 384.898x10<sup>3</sup>,



$296.832 \times 10^3$ ,  $236.569 \times 10^3$  dan  $222.801 \times 10^3$  kPa, tanah natural + 6% kapur adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Begitu juga dengan nilai kepadatan kering menurun, nilai kepadatan kering tanah natural berturut-turut adalah 12.48, 12.14, 11.80 dan 11.80  $\text{kN/m}^3$ , tanah natural + 6% kapur adalah 13.79, 13.78, 13.65 dan 13.46  $\text{kN/m}^3$ . Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%. Sedangkan nilai kepadatan kering pada tanah natural menurun 4.052 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 2.877%.

#### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.58E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai modulus geser maksimum dan nilai derajat kejenuhan akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai modulus geser maksimum menurun, nilai modulus geser maksimum tanah natural berturut-turut adalah  $384.898 \times 10^3$ ,  $296.832 \times 10^3$ ,  $236.569 \times 10^3$  dan  $222.801 \times 10^3$  kPa, tanah natural + 6% kapur adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Begitu juga nilai derajat kejenuhannya menurun, nilai derajat kejenuhan tanah natural berturut-turut adalah 96.259, 96.308, 86.778 dan 86.040 %, tanah natural + 6% kapur adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%. Sedangkan nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.880 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%.



**Gambar 4.59** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural+ 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### **K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.59A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Semakin banyak jumlah proses pengeringan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai derajat kejenuhannya menurun, nilai derajat kejenuhan tanah natural berturut-turut adalah 96.259, 96.308, 86.778 dan 86.040 %, tanah natural + 6% kapur adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Begitu juga nilai berat volume tanahnya menurun, nilai berat volume tanah natural berturut-turut adalah 17.53, 17.35, 16.61 dan 16.59 kN/m<sup>3</sup>, tanah natural + 6% kapur adalah 17.52, 17.52, 17.33 dan 17.10 kN/m<sup>3</sup>. Nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.880 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%. Sedangkan nilai berat volume tanah pada tanah natural menurun 4.182 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 2.785%.

### **L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.59B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah semakin turun. Penurunan berat volume tanah mengakibatkan kerapatan dan kepadatan tanah menurun sehingga kecepatan rambat sinyal melambat sehingga nilai modulus geser maksimum menurun. Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%. Sedangkan nilai berat volume tanah pada tanah natural menurun 4.182 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 2.785%.

### **M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.59C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_U$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Semakin banyak proses pengeringan, maka derajat kejenuhan dan kohesi semakin turun. Pada kondisi yang sama, nilai derajat kejenuhannya menurun, nilai derajat kejenuhan tanah natural berturut-turut adalah 96.259, 96.308, 86.778 dan 86.040 %, tanah natural + 6% kapur adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Begitu juga dengan nilai kohesi menurun, nilai kohesi tanah natural berturut-turut adalah 35.160, 32.578, 31.071 dan 25.811 kN/m<sup>2</sup>, tanah natural + 6% kapur adalah 268.500, 240.756, 221.266 dan 216.765 kN/m<sup>2</sup>. Nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.880 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%. Sedangkan nilai kohesi pada tanah natural menurun 37.216 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 18.235%.

### **N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.58D adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Semakin banyak proses pengeringan, maka modulus geser maksimum dan kohesi semakin turun. Pada kondisi yang sama, nilai modulus geser maksimum menurun, nilai modulus geser maksimum tanah natural berturut-turut adalah  $384.898 \times 10^3$ ,  $296.832 \times 10^3$ ,  $236.569 \times 10^3$  dan  $222.801 \times 10^3$  kPa, tanah natural + 6% kapur adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Begitu juga nilai kohesi menurun, nilai kohesi tanah natural berturut-turut adalah 35.160, 32.578, 31.071 dan 25.811 kN/m<sup>2</sup>, tanah natural + 6% kapur adalah 268.500, 240.756, 221.266 dan 216.765 kN/m<sup>2</sup>. Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%. Sedangkan nilai kohesi pada tanah natural menurun 37.216 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 18.235%.

#### 4.5.2 Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural + 10% *Fly Ash*

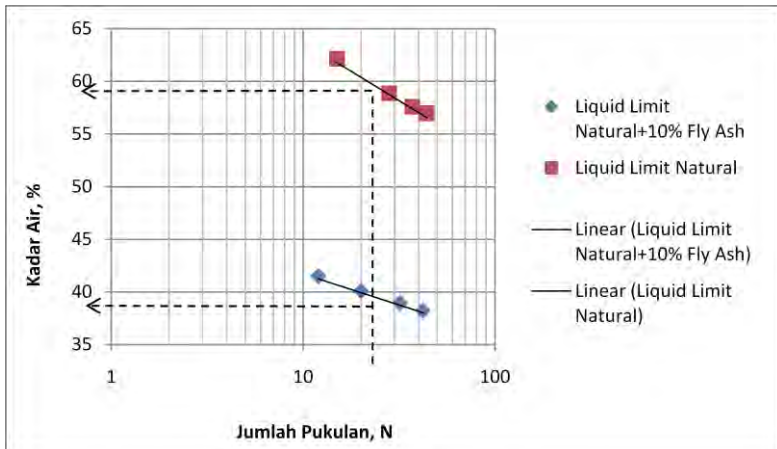
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

##### 4.5.2.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*.

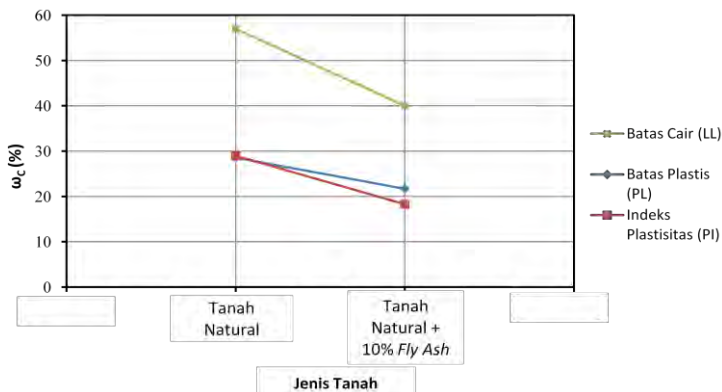
##### A. Hasil Pengujian *Atterberg Limits*

Pengujian *Atterberg limits* tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.60.



**Gambar 4.60** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.60 untuk tanah natural kadar air pada ketukan ke 25 adalah 57% dan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 25.958%. Sedangkan untuk tanah natural + 10% *fly ash* kadar air pada ketukan ke 25 adalah 40% dan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 21.706%. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Sehingga dari hasil pengujian didapat nilai indeks plastisitas tanah natural sebesar 31.042 % dan nilai indeks plastisitas tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 18.294%.

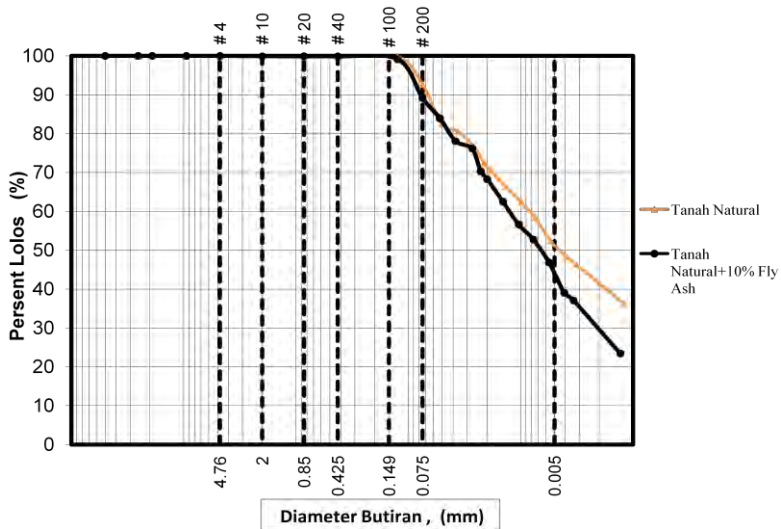


**Gambar 4.61** Hasil pengujian batas batas Atterberg pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.61 nilai batas cair tanah natural + 10% *fly ash* menurun 29.825 %, batas plastis menurun 23.935 %, nilai indeks plastisitas menurun 36.839 % dari tanah natural.

## B. Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* dapat dilihat pada gambar 4.62.



**Gambar 4.62** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butir di atas didapat persentase masing-masing fraksi tanah pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* yang dapat dilihat pada table 4.6.

**Tabel 4.6** Persentase fraksi tanah pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*

Fraksi Tanah	Jenis Tanah	
	natural	natural + 10% <i>fly ash</i>
Kerikil ( <i>Gravel</i> )	0%	0%
Pasir ( <i>Sand</i> )	7.31%	10.830%
Lanau ( <i>Silt</i> )	56.487%	65.744%
Lempung ( <i>Clay</i> )	36.203%	23.426%

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### C. Klasifikasi Tanah

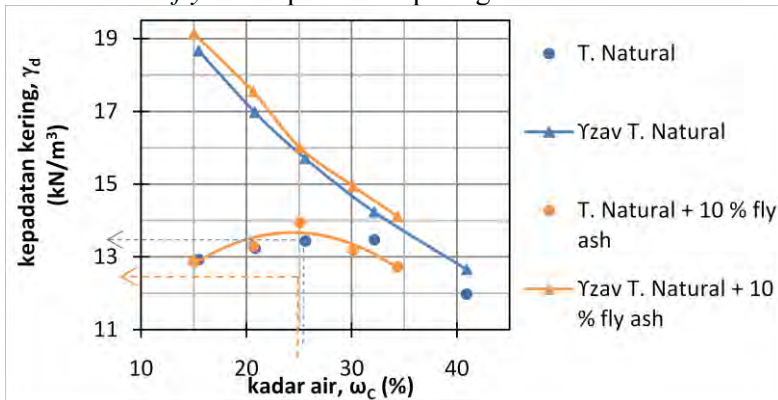
Berdasarkan sifat-sifat fisik diatas, menurut USCS tanah natural termasuk ke dalam kelompok tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-7-6. Setelah adanya penambahan 10% *fly ash*, tanah natural mengalami peningkatan klasifikasi tanah menurut USCS termasuk ke dalam kelompok tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang (CL) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-6.

#### 4.5.2.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika dikenai beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*.

#### A. Hasil Pengujian Proctor Standar

Hasil pengujian Proctor standar dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* dapat dilihat pada gambar 4.63.



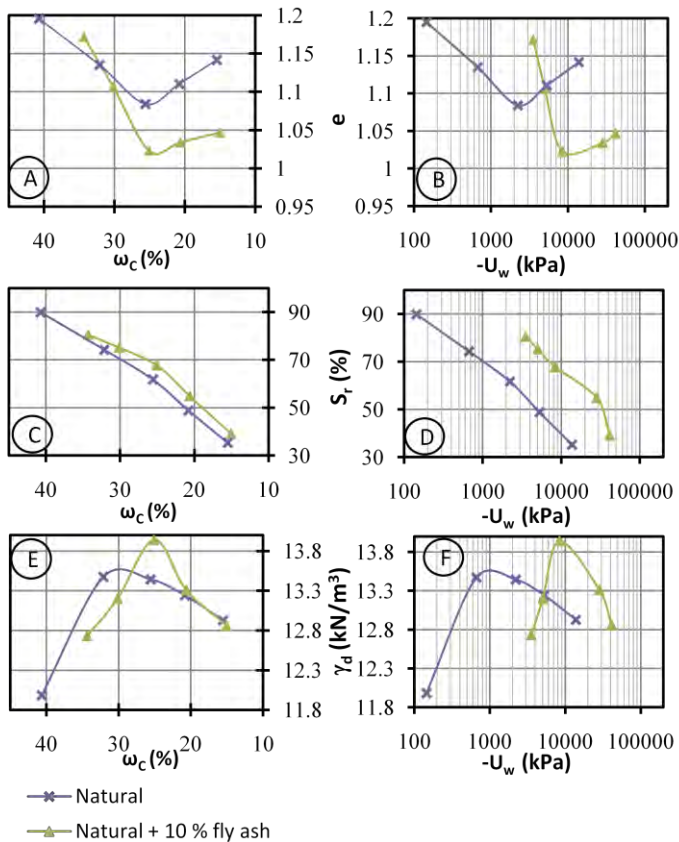
**Gambar 4.63** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



Berdasarkan grafik pemadatan tanah natural diatas didapat nilai kepadatan kering maksimum sebesar  $13.45 \text{ kN/m}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 26%. Sedangkan tanah natural + 10% *fly ash* didapat nilai kepadatan kering maksimum sebesar  $13.70 \text{ kN/m}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 25%.

**D. Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural + 10% *Fly Ash***

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural + 10% *fly ash*.



Tanah Natural :  $\gamma_{d \text{ maks}} = 13.45 \text{ kN/m}^3$ ,  
 $\omega_{c \text{ opt}} = 26 \%$

Tanah Natural + 10% fly ash :  $\gamma_{d \text{ maks}} = 13.70 \text{ kN/m}^3$ ,  
 $\omega_{c \text{ opt}} = 25 \%$

**Gambar 4.64** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural + 10% fly ash  
 (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**a) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.64A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Tampak bahwa untuk kadar air yang sama (misal 25 %) tanah natural memiliki angka pori sebesar 1.084 setelah distabilisasi dengan 10% *fly ash* berkurang menjadi 1.023. Perubahan nilai tersebut menunjukkan angka pori natural + 10% *fly ash* cenderung lebih kecil dibandingkan tanah natural, yang diakibatkan oleh berat butiran solid yang meningkat. Hal ini berarti bahwa benda uji yang distabilisasi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan benda uji natural.

**b) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.64B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Dalam gambar 4.5B ditunjukkan bahwa untuk tegangan air pori negatif yang sama, angka pori tanah natural lebih besar dibanding dengan angka pori tanah natural + 10% *fly ash*. Hal ini disebabkan karena jika angka pori semakin kecil maka kadar air kertas filter whatman akan semakin kecil, semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

**c) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.64C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kadar air dengan derajat kejenuhan berbanding lurus, yaitu semakin besar kadar air semakin meningkat derajat kejenuhannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa, sebagai contoh untuk kadar air sebesar  $\pm 25\%$ , tanah natural memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 61.722\%$  dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 67.815\%$ . Hal ini disebabkan tanah mengembang saat

kadar air bertambah sehingga volume air membesar. Dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga nilai derajat kejenuhan pun ikut membesar. Sebaliknya derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil.

**d) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.64D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin kecil tegangan air pori negatif semakin besar derajat kejenuhannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa, sebagai contoh untuk derajat kejenuhan sebesar 70%, tanah natural memiliki tegangan air pori negatif sebesar 1198.553 kPa dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki tegangan air pori negatif sebesar 7400.714 kPa. Dari contoh tersebut menunjukkan bahwa tanah natural yang telah distabilisasi tegangan air pori negatifnya meningkat. Hal ini disebabkan kadar air tanah yang terus bertambah menyebabkan nilai derajat kejenuhan meningkat dan kadar air kertas whatman meningkat sehingga semakin kecil nilai tegangan air pori negatifnya.

**e) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.64E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tanah natural + 10% *fly ash* memiliki kepadatan kering maksimum lebih besar yaitu 13.70 kN/m<sup>3</sup> dari pada tanah natural sebesar 13.45 kN/m<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan bahan tambah kapur dapat meningkatkan kepadatan tanah. Pada kondisi tersebut rongga pada tanah paling kecil sehingga kepadatan tanah paling maksimum.

**f) Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.64F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tanah natural + 10% *fly ash* memiliki tegangan air pori negatif lebih besar yaitu 8400.382 kPa dari pada tanah natural sebesar 2217.531 kPa. Tampak bahwa besarnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) akan bertambah jika kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) semakin naik. Hal ini disebabkan karena jika tanah yang memiliki kepadatan kering yang tinggi kadar air pada kertas filter Whatman akan semakin mengecil karena air yang terserap lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang memiliki kepadatan yang kecil. Semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

**E. Hasil Pengujian Triaksial**

Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* yang dapat dilihat pada tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*

Parameter	Jenis Tanah	
	natural	natural + 10% <i>fly ash</i>
$\phi$ ( $^{\circ}$ )	4.3	2.7
c (kN/m <sup>2</sup> )	55.6	123
E <sub>1</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	3970.8	12875.7
E <sub>2</sub> (kNm <sup>2</sup> )	3810.86	13175.0

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

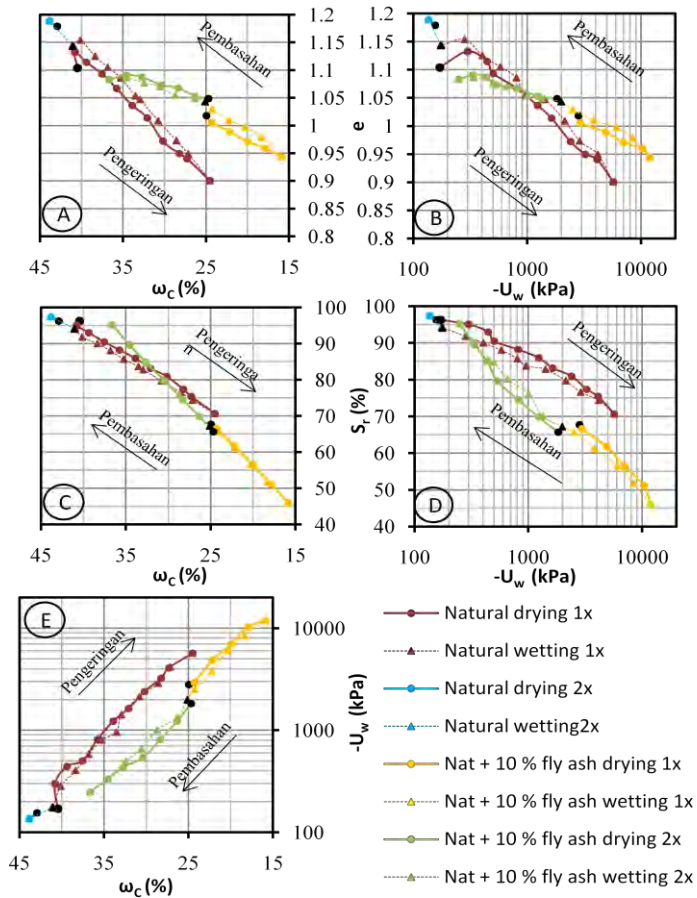
#### 4.5.2.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* dari siklus pengeringan-pembasahan pada siklus pertama dan kedua.

##### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.65A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Pada kurva tersebut menunjukkan nilai angka pori saat kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) pada tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 1.043 lebih kecil dibandingkan pada tanah natural yang sebesar 1.144. Hal ini disebabkan pengaruh bahan stabilisasi diatas pada tanah menyebabkan volume pori mengecil dan volume solid meningkat. Dimana angka pori adalah perbandingan antara volume pori dengan volume solid ( $e = V_v/V_s$ ), sehingga angka pori menurun.

Jika dilihat pada kadar air yang sama (contoh  $\pm 34\%$ ) nilai angka pori tanah natural sebesar 1.037 dan tanah natural + 10% *fly ash* kapur sebesar 1.086. Angka pori pada tanah natural + 10% *fly ash* lebih kecil dibandingkan tanah natural. Hal ini disebabkan karena kapur yang bersifat mengikat. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai angka pori meningkat sebesar 6.251 % dari tanah natural.



**Gambar 4.65** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### **B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.65B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* kapur. Kurva tersebut menunjukkan juga bahwa tegangan air pori negatif pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x) pada tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 1987.715 kPa lebih besar dibandingkan pada tanah natural sebesar 175.131 kPa. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 67.077 % dari tanah natural sedangkan angka pori meningkat sebesar 6.251 % dari tanah natural.

### **C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.65C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa pada kadar air yang sama (contoh  $\pm 36\%$ ) nilai derajat kejenuhan pada tanah natural sebesar 88.233 % dan pada tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 95.293 %. Nilai derajat kejenuhan pada tanah natural + 10% *fly ash* lebih besar dibandingkan dengan tanah natural. Hal ini disebabkan ruang pori tanah yang distabilisasi lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural. Sehingga pada volume air yang sama dan volume pori yang lebih kecil maka derajat kejenuhan akan lebih besar.

Akan tetapi jika dilihat pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x) nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 67.218 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 %. Hal ini disebabkan kadar air titik inisial *wetting* tanah natural lebih besar dibandingkan dengan tanah yang distabilisasi. Semakin besar kadar air berarti berat air dan volume



air besar sehingga menyebabkan nilai derajat kejenuhan besar. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural.

#### **D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.65D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk nilai derajat kejenuhan yang sama, nilai tegangan air pori negatif tanah natural lebih besar dibanding nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash*. Sebagai contoh untuk nilai derajat kejenuhan sebesar 80 %, tanah natural memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 2620.772 kPa dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 669.445 kPa.

Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 67.218 % lebih kecil dari tanah natural sebesar 94.144 %, sedangkan untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 1987.715 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 67.077 % dari tanah natural sedangkan nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural.

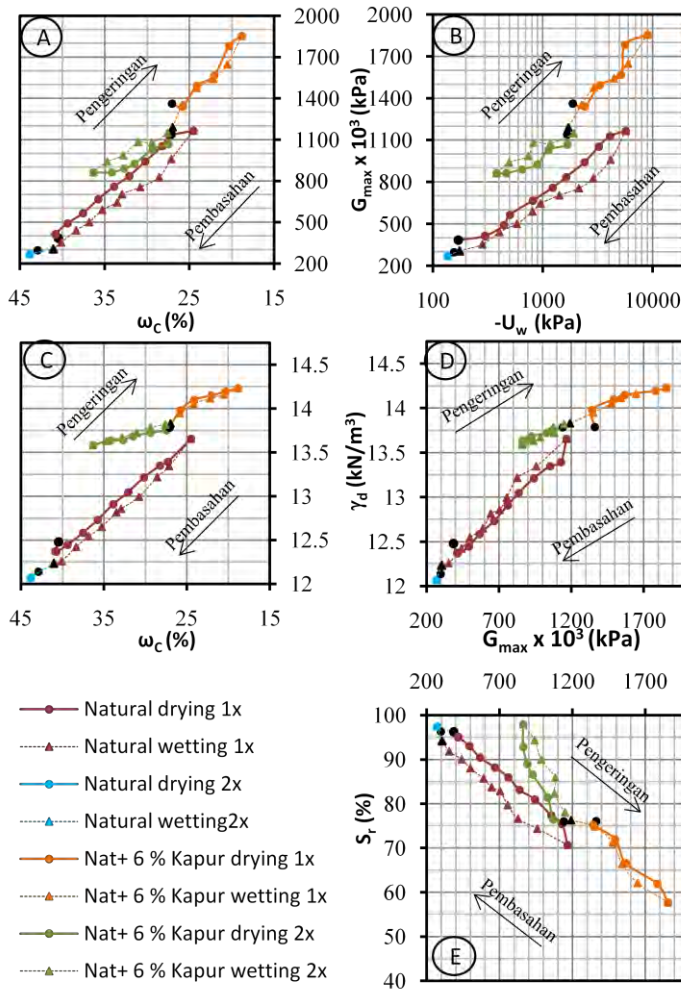
#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.65E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural dan tanah natural +

10% *fly ash*. Untuk nilai kadar air yang sama, nilai tegangan air pori negatif tanah natural lebih besar dibanding nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash*. Sebagai contoh untuk nilai kadar air sebesar 25 %, tanah natural memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 5408.659 kPa dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 2060.365 kPa. Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*), nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 1987.715 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 67.077 % dari tanah natural.

#### **F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.66A adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk nilai kadar air yang sama, nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* lebih besar dibanding nilai modulus geser maksimum tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai kadar air sebesar 25 %, tanah natural memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 1159.624 kPa dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 1186.165 kPa. Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*), nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural.



**Gambar 4.66** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.66B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk nilai tegangan air pori negatif yang sama, nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* lebih besar dibanding nilai modulus geser maksimum tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai tegangan air pori negatif sebesar 2000 kPa, tanah natural memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar  $886.862 \times 10^3$  kPa dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar  $1179.344 \times 10^3$  kPa.

Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa, begitu juga dengan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 1987.715 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 67.077 % dari tanah natural sedangkan nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural.

### H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.66C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Pada kadar air yang sama  $\pm 25\%$  nilai kepadatan kering tanah natural  $13.655 \text{ kN/m}^3$  dan tanah natural + 10% *fly ash*  $13.682 \text{ kN/m}^3$ . Terlihat bahwa nilai kepadatan kering tanah + 6% kapur lebih besar dibandingkan dengan tanah natural. Pada kurva tersebut menunjukkan nilai kepadatan kering saat kondisi yang sama misalnya pada titik

inisial (*wetting* 1x) tanah + 10% *fly ash* sebesar  $13.75 \text{ kN/m}^3$  lebih besar dibandingkan tanah natural  $12.23 \text{ kN/m}^3$ . Hal ini disebabkan pengaruh bahan stabilisasi diatas pada tanah menyebabkan volume pori mengecil dan volume solid meningkat. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai kepadatan kering meningkat sebesar 3.694 % dari tanah natural.

#### **I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.66D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk kepadatan kering yang sama  $\pm 13.655 \text{ kN/m}^3$  nilai modulus geser maksimum tanah natural  $1166.207 \times 10^3 \text{ kPa}$  dan tanah natural + 10% *fly ash*  $1192.148 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Terlihat bahwa tanah + 10% *fly ash* memiliki modulus geser maksimum yang lebih besar dari pada tanah natural.

Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai kepadatan kering saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 10% *fly ash* sebesar  $13.75 \text{ kN/m}^3$  lebih besar dibandingkan tanah natural  $12.23 \text{ kN/m}^3$  dan nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3 \text{ kPa}$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural sedangkan nilai kepadatan kering meningkat sebesar 3.694 % dari tanah natural.

#### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Derajat Kejeenuhan ( $S_r$ )**

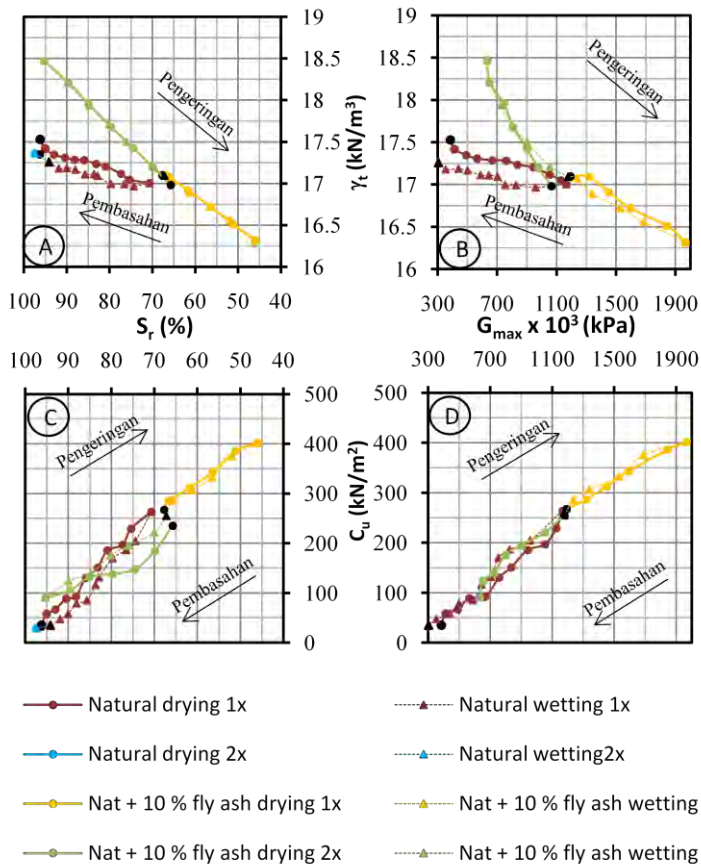
Gambar 4.65E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejeenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk derajat kejeenuhan yang sama  $\pm 70 \%$  nilai modulus geser maksimum tanah natural  $1166.207 \times 10^3 \text{ kPa}$  dan tanah natural + 10% *fly ash*  $1192.148 \times 10^3$

kPa. Terlihat bahwa tanah yang distabilisasi memiliki modulus geser maksimum yang lebih besar daripada tanah natural.

Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai modulus geser saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa dan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 67.218 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 %. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural sedangkan nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural.

#### **K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.66A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 10% *fly ash* sebesar 67.218 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 % dan nilai berat volume tanah natural + 10% *fly ash* sebesar  $17.09 \text{ kN/m}^2$  lebih besar dibandingkan dengan tanah natural  $17.26 \text{ kN/m}^2$ . Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural sedangkan nilai berat volume tanah meningkat sebesar 3.720 % dari tanah natural.



**Gambar 4.67** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.67B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai modulus geser saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa. Begitu juga dengan nilai berat volume tanah natural + 10% *fly ash* sebesar  $17.09 \text{ kN/m}^2$  lebih besar dibandingkan dengan tanah natural  $17.26 \text{ kN/m}^2$ . Hal ini disebabkan karena tanah yang distabilisasi lebih rapat dan padat dibandingkan dengan tanah natural. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural sedangkan nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural.

#### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.67C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk nilai derajat kejenuhan yang sama, nilai kohesi tanah natural + 10% *fly ash* lebih besar dibanding nilai kohesi tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai derajat kejenuhan sebesar 80 %, tanah natural memiliki nilai kohesi sebesar  $188.543 \text{ kN/m}^2$  dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai kohesi sebesar  $176.175 \text{ kN/m}^2$ . Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai kohesi tanah natural + 10% *fly ash* sebesar  $254.959 \text{ kN/m}^2$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $34.822 \text{ kN/m}^2$ , begitu juga dengan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* 67.218 % lebih kecil dari tanah natural 94.144%. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural sedangkan nilai kohesi meningkat sebesar 4.209 % dari tanah natural.

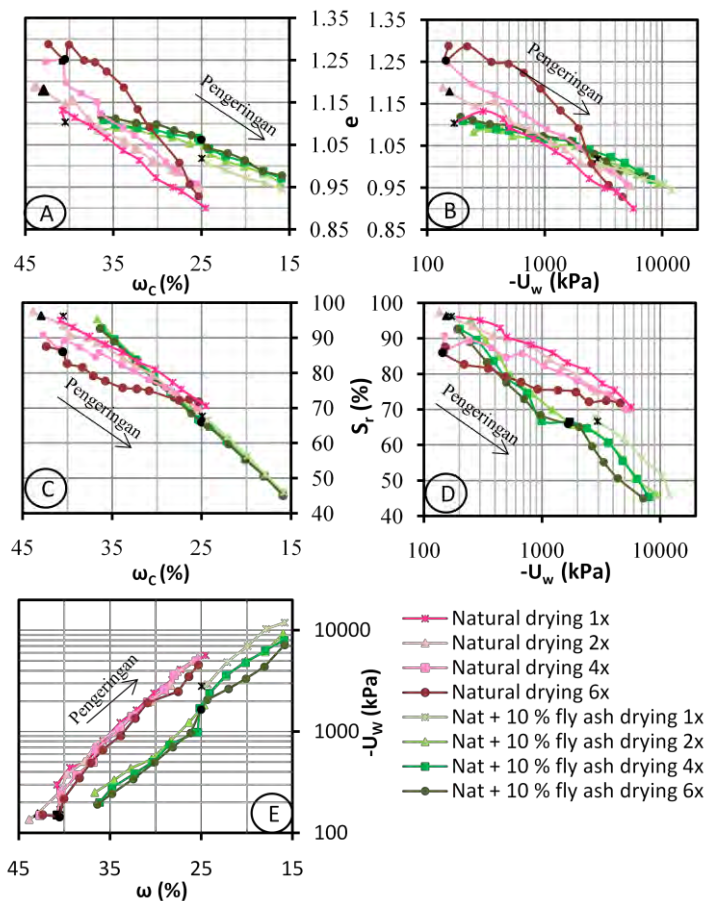


## **N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.67D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk nilai modulus geser maksimum yang sama, nilai kohesi tanah natural + 10% *fly ash* lebih kecil dibanding nilai kohesi tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai modulus geser maksimum sebesar 1100 kPa, tanah natural memiliki nilai kohesi sebesar 216.922 kN/m<sup>2</sup> dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai kohesi sebesar 233.423 kN/m<sup>2</sup>. Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*), nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa, begitu juga dengan nilai kohesi tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 254.959 kN/m<sup>2</sup> lebih besar dari tanah natural sebesar 34.822 kN/m<sup>2</sup>. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural sedangkan nilai kohesi meningkat sebesar 4.209 % dari tanah natural.

### **4.5.2.4 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang pada Siklus 1x, 2x, 4x dan 6x**

Seiring penambahan proses pengeringan (pengeringan berulang) yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.68, 4.69, dan 4.70.



**Gambar 4.68** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural+ 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.68A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* akibat proses pengeringan berulang. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial) nilai angka pori pada tanah natural + 10% *fly ash* lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan penambahan 10% *fly ash* mengakibatkan berat butiran padat bertambah sehingga volume butiran padat ( $V_s$ ) bertambah mengisi ruang pori sehingga volume pori ( $V_v$ ) menurun. Untuk memperjelas perubahan nilai angka pori tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama akan diperlihatkan pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Nilai kadar air dan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 10 % *Fly Ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	24.969
	$e$	1.104	1.018
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	24.710
	$e$	1.179	1.049
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	25.190
	$e$	1.247	1.060
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	25.043
	$e$	1.253	1.062

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10 % *Fly Ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 10 % *Fly Ash* meningkat sebesar 4.739 % dari tanah natural.

### B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.68B adalah kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif untuk tanah natural + 10 % *Fly Ash* akibat proses pengeringan berulang. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial) nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi cenderung lebih kecil sehingga kadar air kertas filter whatman menurun sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Tabel 4.9 akan menunjukkan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada kondisi yang sama untuk tanah natural maupun tanah natural + 10 % *Fly Ash*.

**Tabel 4.9** Nilai tegangan air pori negatif dan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 10 % *Fly Ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$-U_w$ (kPa)	170.221	2815.912
	$e$	1.104	1.018
2x	$-U_w$ (kPa)	154.978	1827.599
	$e$	1.179	1.049
4x	$-U_w$ (kPa)	150.229	1711.739
	$e$	1.247	1.060
6x	$-U_w$ (kPa)	144.038	1659.221
	$e$	1.253	1.062

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10 % *Fly Ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 10 % *Fly Ash* meningkat sebesar 4.739 % dan tegangan air pori negatif menurun sebesar 69.389 % dari tanah natural.

### C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.68C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural + 10% *fly ash* akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 1.932 % dari tanah natural.

### D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.68D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan dengan tegangan air pori negatif (*suction*) pada tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif tanah natural setelah distabilisasi meningkat, sedangkan nilai derajat kejenuhannya menurun. Nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$-U_w$ (kPa)	170.221	2815.912
	$S_r$ (%)	96.259	67.718
2x	$-U_w$ (kPa)	154.978	1827.599
	$S_r$ (%)	96.308	65.725
4x	$-U_w$ (kPa)	150.229	1711.739
	$S_r$ (%)	86.778	66.512

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
6x	$-U_w$ (kPa)	144.038	1659.221
	$S_r$ (%)	86.040	65.903

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 1.932 % dan tegangan air pori negatif menurun sebesar 69.389 % dari tanah natural.

#### E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )

Gambar 4.68E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dan tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif tanah yang distabilisasi meningkat dibandingkan tanah natural. Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.11.

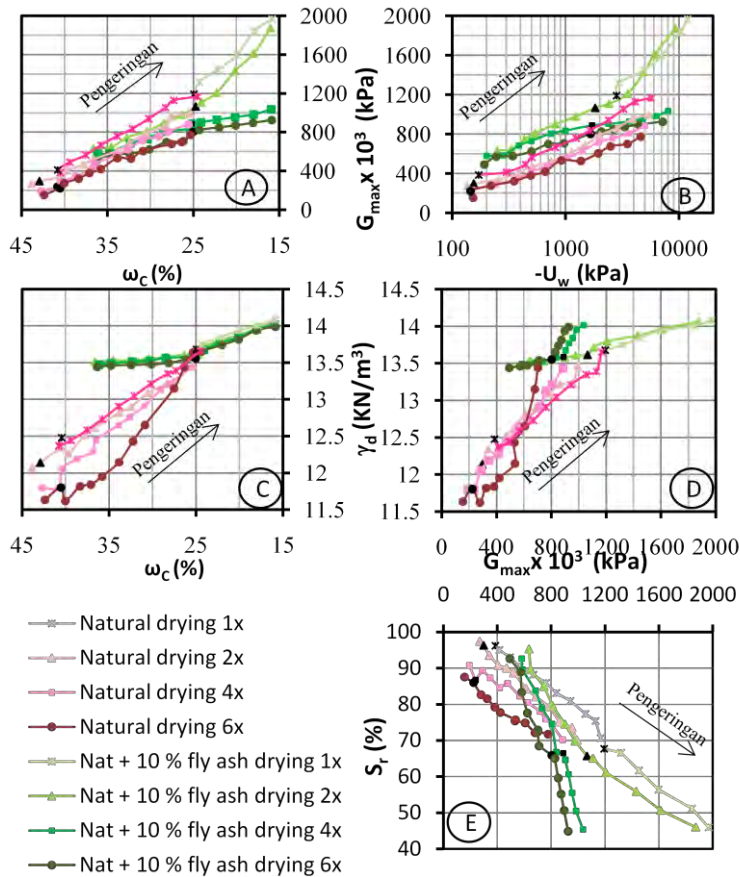
**Tabel 4.11** Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	24.969
	$-U_w$ (kPa)	170.221	2815.912
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	24.710
	$-U_w$ (kPa)	154.978	1827.599

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	25.190
	$-U_w$ (kPa)	150.229	1711.739
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	25.043
	$-U_w$ (kPa)	144.038	1659.221

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural 10% *fly ash* menurun sebesar 69.389 % dari tanah natural.



**Gambar 4.69** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural+ 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



### F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ )

Gambar 4.69A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum tanah yang distabilisasi meningkat dibandingkan tanah natural. Nilai kadar air dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Nilai kadar air dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	24.969
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1192.148
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	24.710
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	1065.083
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	25.190
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	887.859
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	25.043
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	802.596

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural 10% *fly ash* meningkat sebesar 6.005 % dari tanah natural.

### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ )

Gambar 4.69B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum tanah natural setelah distabilisasi meningkat. Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$-U_w$ (kPa)	170.221	2815.912
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1192.148
2x	$-U_w$ (kPa)	154.978	1827.599
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	1065.083
4x	$-U_w$ (kPa)	150.229	1711.739
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	887.859
6x	$-U_w$ (kPa)	144.038	1659.221
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	802.596

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash* menurun sebesar 69.389 % dan modulus geser maksimum meningkat sebesar 6.005 % dari tanah natural.

## H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.69C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai kepadatan kering tanah yang distabilisasi meningkat dibandingkan tanah natural. Nilai kadar air dan kepadatan kering pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Nilai kadar air dan kepadatan kering tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	24.969
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.48	13.68
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	24.710
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.14	13.62
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	25.190
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.59
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	25.043
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.56

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai kepadatan kering tanah natural 10% *fly ash* meningkat sebesar 4.506 % dari tanah natural.

### I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.69D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum dan kepadatan kering tanah natural setelah distabilisasi meningkat. Nilai modulus geser maksimum dan kepadatan kering pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.15.

**Tabel 4.15** Nilai modulus geser maksimum dan kepadatan kering tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	384.898	1192.148
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.48	13.68
2x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	296.832	1065.083
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.14	13.62
4x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	236.569	887.859
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.59
6x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	222.801	802.596
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.56

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 6.005 % dan kepadatan kering meningkat sebesar 4.506 % dari tanah natural.

### J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ )

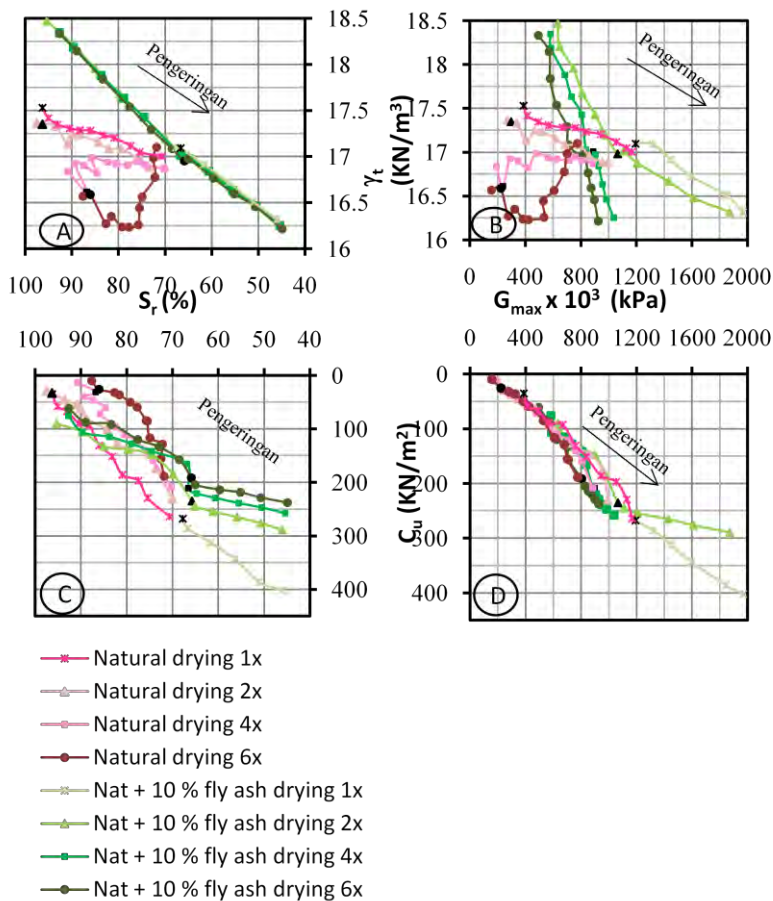
Gambar 4.69E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum tanah natural setelah distabilisasi meningkat sedangkan nilai derajat kejuhannya menurun. Nilai modulus geser maksimum dan derajat kejuhan pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.16.

**Tabel 4.16** Nilai modulus geser maksimum dan derajat kejuhan tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1192.148
	$S_r$ (%)	96.259	67.718
2x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	1065.083
	$S_r$ (%)	96.308	65.725
4x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	887.859
	$S_r$ (%)	86.778	66.512
6x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	802.596
	$S_r$ (%)	86.040	65.903

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 6.005 % dan derajat kejuhan meningkat sebesar 1.932 % dari tanah natural.



**Gambar 4.70** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.70A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai derajat kejenuhannya tanah natural setelah distabilisasi menurun sedangkan nilai berat volume tanahnya cenderung meningkat. Nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.17.

**Tabel 4.17** Nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % Fly Ash
1x	$S_r$ (%)	96.259	67.718
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.53	17.10
2x	$S_r$ (%)	96.308	65.725
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.35	16.98
4x	$S_r$ (%)	86.778	66.512
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.61	17.01
6x	$S_r$ (%)	86.040	65.903
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.59	16.95

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 1.932 % dan berat volume tanah meningkat sebesar 4.437 % dari tanah natural.

#### L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.70B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah untuk tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum dan nilai berat volume tanah natural setelah distabilisasi meningkat. Nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.18.

**Tabel 4.18** Nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % Fly Ash
1x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	384.898	1192.148
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.53	17.10
2x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	296.832	1065.083
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.35	16.98
4x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	236.569	887.859
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.61	17.01
6x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	222.801	802.596
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.59	16.95

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 6.005 % dan berat volume tanah meningkat sebesar 4.437 % dari tanah natural.



### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.70C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai derajat kejenuhannya tanah natural setelah distabilisasi menurun sedangkan nilai kohesinya meningkat. Nilai derajat kejenuhan dan kohesi tanah pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.19.

**Tabel 4.19** Nilai derajat kejenuhan dan kohesi tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$S_r$ (%)	96.259	67.718
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35.160	267.348
2x	$S_r$ (%)	96.308	65.725
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	32.578	235.082
4x	$S_r$ (%)	86.778	66.512
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	31.071	210.694
6x	$S_r$ (%)	86.040	65.903
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	25.811	191.199

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 1.932 % dan kohesinya meningkat sebesar 4.051 % dari tanah natural.

#### N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.70D adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum tanah natural setelah distabilisasi meningkat sedangkan nilai kohesinya meningkat. Nilai modulus geser maksimum dan kohesi tanah pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.20.

**Tabel 4.20** Nilai modulus geser maksimum dan kohesi tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	384.898	1192.148
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35.160	267.348
2x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	296.832	1065.083
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	32.578	235.082
4x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	236.569	887.859
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	31.071	210.694
6x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	222.801	802.596
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	25.811	191.199

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 6.005 % dan kohesinya meningkat sebesar 4.051 % dari tanah natural.

#### 4.5.3 Hasil Pengujian Tanah Natural dan Tanah Natural + Mikro Biobakteri

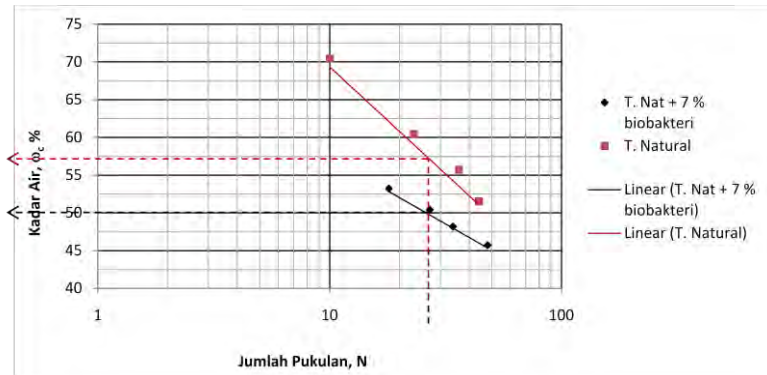
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

##### 4.5.3.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri.

##### A. Hasil Pengujian *Atterberg Limits*

Pengujian *Atterberg limits* tanah natural dan tanah + mikro biobakteri terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.71.



**Gambar 4.71** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.70 kadar air pada ketukan ke 25 untuk tanah natural adalah 57 % sedangkan tanah + 7 % mikro

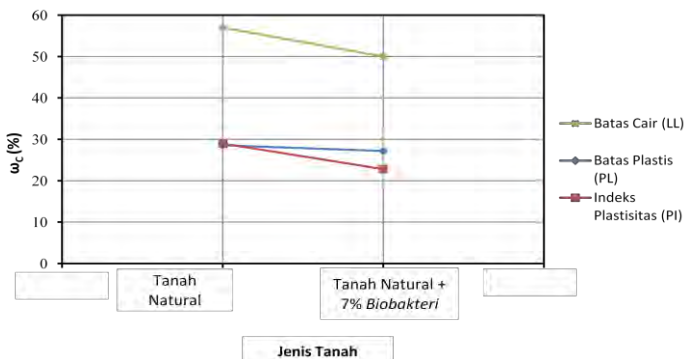
biobakteri adalah 50 %. Sedangkan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis untuk tanah natural adalah 25.958 % sedangkan tanah + 7 % mikro biobakteri adalah 27.205 %. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis.

**Tabel 4.21.** Hasil pengujian *Atterberg limit* pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri

Pengujian <i>Atterberg limit</i>	Jenis Tanah	
	Natural	Natural + 7 % Biobakteri
- Batas Cair (LL)	57 %	50 %
- Batas Plastis (PL)	25.958 %	27.205 %
- Indeks Plastisitas (PI)	31.042 %	22.795 %

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari tabel 4.21 terlihat bahwa akibat penambahan 7% mikro biobakteri nilai batas-batas Atterberg mengalami perubahan dibandingkan tanah natural. Untuk memperjelas perubahan nilai batas-batas Atterberg akan diperlihatkan pada gambar 4.72.



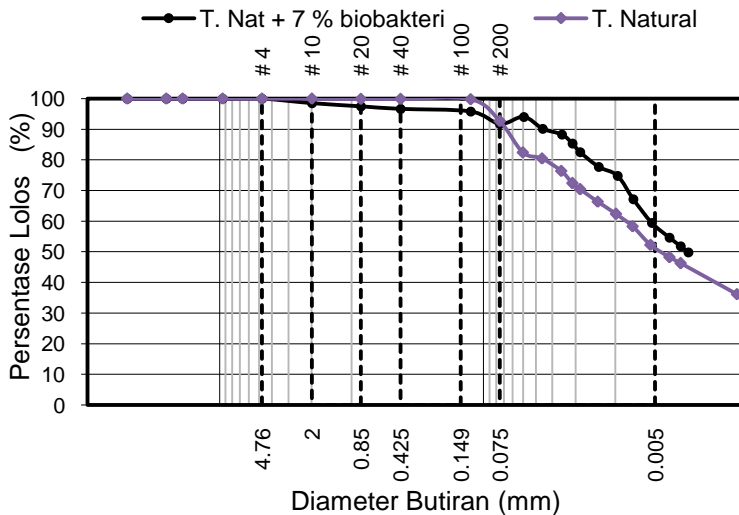
**Gambar 4.72** Hasil pengujian batas batas Atterberg pada tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari gambar 4.72 tanah + 7 % mikro biobakteri memiliki nilai batas plastis meningkat 4.804 % nilai batas cair (LL) menurun 12.28 % dan plastisitas indeks (PI) menurun 26.57 % dibandingkan dengan tanah natural. Penurunan nilai batas cair dan indeks plastisitas menunjukkan bahwa adanya perbaikan sifat-sifat fisik tanah pada tanah + 7 % mikro biobakteri.

## B. Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tabah natural dan tanah natural + mikro biobakteri dapat dilihat pada gambar 4.73.



**Gambar 4.73** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butiran diatas didapat persentase masing-masing fraksi tanah. Tabel 4.22 memperlihatkan persentase masing-masing fraksi tanah tersebut :

**Tabel 4.22.** Hasil pengujian analisa ukuran butir tanah pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri

<b>Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer</b>	<b>Jenis Tanah</b>	
	<b>Natural</b>	<b>Natural + 7 % Biobakteri</b>
- Fraksi Kerikil ( <i>Gravel</i> )	0 %	0 %
- Fraksi Pasir ( <i>Sand</i> )	7.31 %	8.214 %
- Fraksi Lanau ( <i>Silt</i> )	56.487 %	41.878 %
- Fraksi Lempung ( <i>Clay</i> )	36.203 %	49.908 %

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan hasil gradasi ukuran butir, fraksi pasir tanah + mikro biobakteri meningkat 12.367 %, fraksi lanau menurun 25.86 %, dan fraksi lempung meningkat 38.856 % dibandingkan tanah natural. Adanya peningkatan persentase butiran kasar menunjukkan stabilisasi menggunakan mikro biobakteri bisa memperbaiki distribusi ukuran butir dari tanah natural.

### C. Klasifikasi Tanah

Tabel 4.23 memperlihatkan klasifikasi tanah untuk tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri.

**Tabel 4.23.** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri

<b>Klasifikasi Tanah</b>	<b>Jenis Tanah</b>	
	<b>Natural</b>	<b>Natural + 7 % Biobakteri</b>
- USCS	CH	CL
- AASHTO	A - 7 - 6	A - 7 - 6

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari tabel 4.23 menunjukkan adanya stabilisasi menggunakan mikro biobakteri merubah klasifikasi tanahnya. Berdasarkan USCS tanah bengawan Solo masuk ke dalam kelompok tanah lempung berplastisitas rendah sampai sedang.

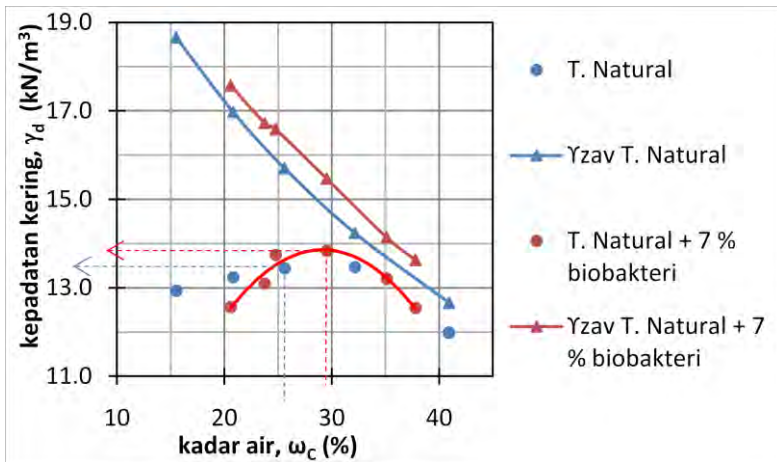
Sedangkan menurut AASHTO tidak ada perubahan pengelompokkan tanah.

#### 4.5.3.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika dikenai beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri.

##### A. Hasil Pengujian Proctor Standar

Gambar 4.74 adalah kurva pemadatan standar tanah natural dan tanah + mikro biobakteri.



**Gambar 4.74** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

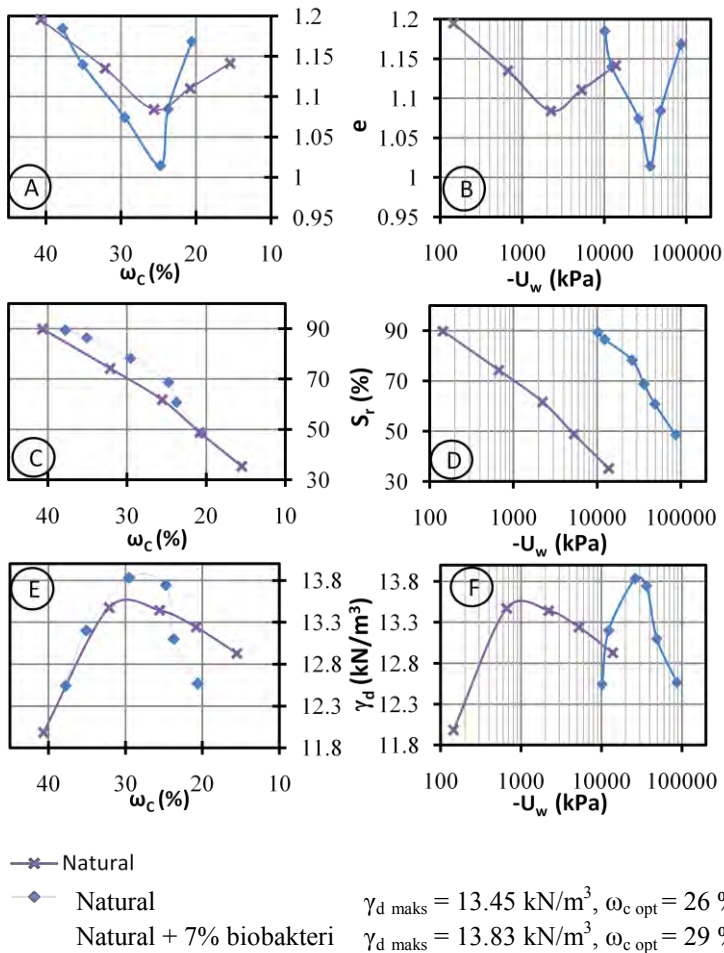
Gambar 4.74 memperlihatkan stabilisasi tanah natural + 7 % mikro biobakteri meningkatkan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) yang awalnya sebesar 13.45 kN/m<sup>3</sup> menjadi 13.83 kN/m<sup>3</sup> atau

meningkat 2.825 %. Kadar air yang dibutuhkan untuk mencapai kepadatan kering maksimum pun meningkat yang awalnya sebesar 25 % menjadi 29 % atau meningkat 11.538 %. hal ini menunjukkan bahwa tanah natural + 7 % mikro biobakteri untuk mencapai kepadatan kering maksimum memerlukan air yang lebih banyak dibandingkan tanah natural.

#### **B. Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural + Mikro Biobakteri**

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri.





**Gambar 4.75** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**a) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.75A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik tanah. Pada kondisi optimum nilai angka pori menurun 0.929 % dan kadar air meningkat 11.538 %.

**b) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.75B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik dan mekanik tanah. Pada kondisi optimum nilai angka pori menurun 0.929 % dan tegangan air pori negatif meningkat 1081.128 %.

**c) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.75C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Terlihat bahwa dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik tanah. Pada kondisi optimum nilai kadar air meningkat 11.538 % dan derajat kejenuhan meningkat 26.797 %.

**d) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.75D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik dan mekanik tanah. Pada

kondisi optimum nilai derajat kejenuhan meningkat 26.797 % dan tegangan air pori negatif meningkat 1081.128 %.

**e) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.75E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik tanah. Pada kondisi optimum nilai kadar air meningkat 11.538 % dan kepadatan kering meningkat 2.825 %.

**f) Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.75F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik dan dinamik tanah. Pada kondisi optimum kepadatan kering meningkat 2.825 % dan tegangan air pori negatif meningkat 1081.128 %.

**C. Hasil Pengujian Triaksial**

Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri.

**Tabel 4.24** Hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* tanah natural dan tanah natural + 7 % Biobakteri

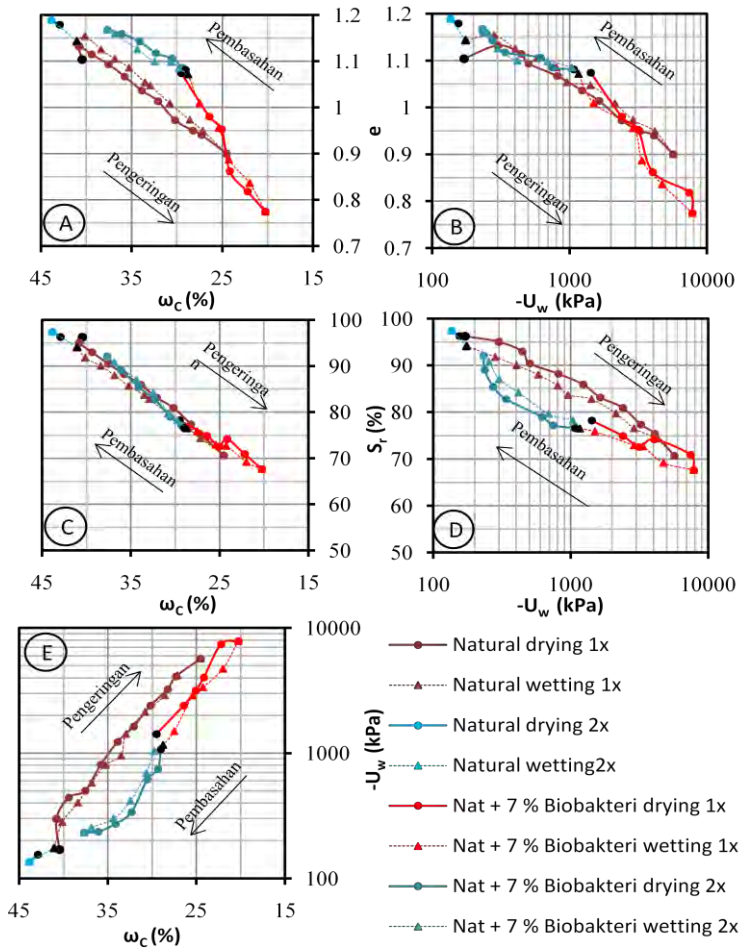
Parameter	Jenis Tanah	
	natural	natural + 7 % Biobakteri
$\phi$ ( $^{\circ}$ )	4.3	2.6
c (kN/m <sup>2</sup> )	55.6	221.1
E <sub>1</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	3970.8	23023.5
E <sub>2</sub> (kNm <sup>2</sup> )	3810.86	15660.6

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari tabel terlihat adanya penambahan 7 % mikro biobakteri nilai sudut geser dalam tanah menurun 39.535%, nilai kohesi meningkat 297.662 %, nilai modulus elastisitas pertama meningkat 504.207 %, modulus elastisitas kedua meningkat 302.5 %.

#### 4.5.3.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri dari siklus pengeringan-pembasaan pada siklus pertama dan kedua.



**Gambar 4.76** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.76A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai angka pori pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan penambahan 7 % mikro biobakteri menyebabkan volume pori mengecil dan volume solid meningkat. Dimana angka pori adalah perbandingan antara volume pori dengan volume solid ( $e = V_v/V_s$ ), sehingga angka pori menurun. Untuk lebih memperjelas nilai angka pori diatas diperlihatkan pada tabel 4.25.

**Tabel 4.25** Nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$\omega_c$ (%)	e
Natural	41.046	1.144
Natural + 7 % Mikro Biobakteri	28.768	1.072

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 7.237 % dari tanah natural.

#### B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.76B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) tegangan air pori

negatif pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah + 7 % mikro biobakteri lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Untuk memperjelas nilai angka pori dan nilai tegangan air pori negatif untuk tanah natural dan + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama akan diperlihatkan pada tabel 4.26.

**Tabel 4.26** Nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$-U_w$ (kPa)	e
Natural	175.131	1.144
Natural + 7 % Mikro Biobakteri	1164.197	1.072

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 7.237 % dan tegangan air pori negatif menurun 65.278 % dari tanah natural.

### C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.76C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai derajat kejenuhan + 7 % mikro biobakteri lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural. Hal ini disebabkan kadar air titik inisial *wetting* tanah natural lebih besar dibandingkan + 7 % mikro biobakteri. Semakin besar kadar air berarti berat air dan volume air besar

sehingga menyebabkan nilai derajat kejenuhan besar. Untuk memperjelas nilai derajat kejenuhan pada kondisi yang sama dapat dilihat pada tabel 4.27.

**Tabel 4.27** Nilai kadar air dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$\omega_c$ (%)	$S_r$ (%)
Natural	41.046	94.144
Natural + 7 % Mikro Biobakteri	28.768	76.480

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7 % mikro biobakteri rata-rata meningkat 1.966 % dari tanah natural.

#### **D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.76D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai derajat kejenuhan + 7 % mikro biobakteri lebih kecil dari tanah natural, sedangkan untuk nilai tegangan air pori + 7 % mikro biobakteri lebih besar dari tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif diatas diperlihatkan pada tabel 4.28.



**Tabel 4.28** Nilai derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$S_r$ (%)	$-U_w$ (kPa)
Natural	94.144	175.131
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	76.480	1164.197

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 1.966 % dan tegangan air pori negatif menurun 65.278 % dari tanah natural.

#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.76E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai tegangan air pori negatif pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah + 7 % mikro biobakteri lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Untuk lebih memperjelas nilai kadar air dan tegangan air pori negatif diatas diperlihatkan pada tabel 4.29.

**Tabel 4.29** Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama

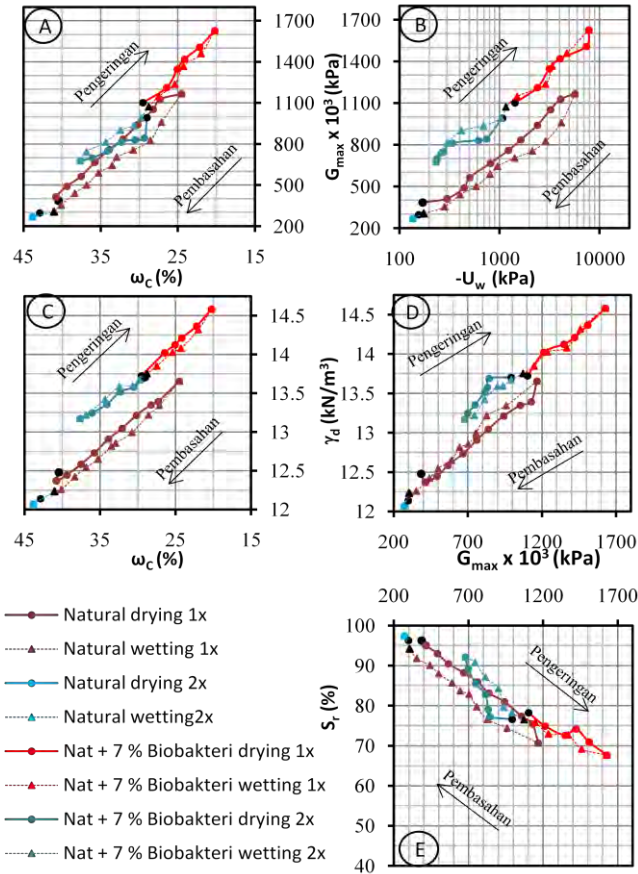
Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$\omega_c$ (%)	$-U_w$ (kPa)
Natural	41.046	175.131
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	28.768	1164.197

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata menurun 65.278 % dari tanah natural.

#### F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.77A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai modulus geser maksimum pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan pada tanah + 7 % mikro biobakteri lebih rapat dan padat sehingga kecepatan rambat sinyal lebih cepat dari tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai kadar air dan modulus geser maksimum diatas diperlihatkan pada tabel 4.30.



**Gambar 4.77** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**Tabel 4.30** Nilai kadar air dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri dalam kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$\omega_c$ (%)	$G_{\max}$ (kPa)
Natural	41.046	305.149
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	28.768	1071.622

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ )

Gambar 4.77B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah + 7 % mikro biobakteri lebih kecil dari tanah natural sehingga nilai tegangan air pori negatifnya dan modulus geser maksimum meningkat. Untuk lebih memperjelas nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum diatas diperlihatkan pada tabel 4.31.

**Tabel 4.31** Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri dalam kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$-U_w$ (kPa)	$G_{max}$ (kPa)
Natural	175.131	305.149
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	1164.197	1071.622

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata menurun 65.278 % dan modulus geser maksimum meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.77C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai kepadatan kering pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan penambahan 7 % mikro biobakteri meningkatkan berat butiran solid dari tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai kepadatan kering akan diperlihatkan pada tabel 4.32 di bawah ini.

**Tabel 4.32** Nilai kadar air dan kepadatan kering pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i>	
	$\omega_c$ (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
Natural	41.046	12.23
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	26.987	13.83

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai kepadatan kering tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 4.372 % dari tanah natural.

#### I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.77D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan tanah + 7 % mikro biobakteri lebih padat dan rapat dari tanah natural sehingga nilai modulus geser maksimum meningkat. Untuk lebih memperjelas nilai kepadatan kering dan nilai modulus geser maksimum akan diperlihatkan pada tabel 4.33 di bawah ini.

**Tabel 4.33** Nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i>	
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$G_{maks}$ (kPa)
Natural	12.23	$305.149 \times 10^3$
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	13.83	$1190.758 \times 10^3$

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai kepadatan kering tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 4.372 % dan modulus geser maksimum meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.77E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai modulus geser maksimum lebih besar dibandingkan tanah natural dan nilai derajat kejenuhan tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih kecil dibandingkan tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai derajat kejenuhan dan nilai modulus geser maksimum akan diperlihatkan pada tabel 4.34 di bawah ini.

**Tabel 4.34** Nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i>	
	$G_{maks}$ (kPa)	Sr (%)
Natural	$305.149 \times 10^3$	94.144
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	$1190.758 \times 10^3$	76.280

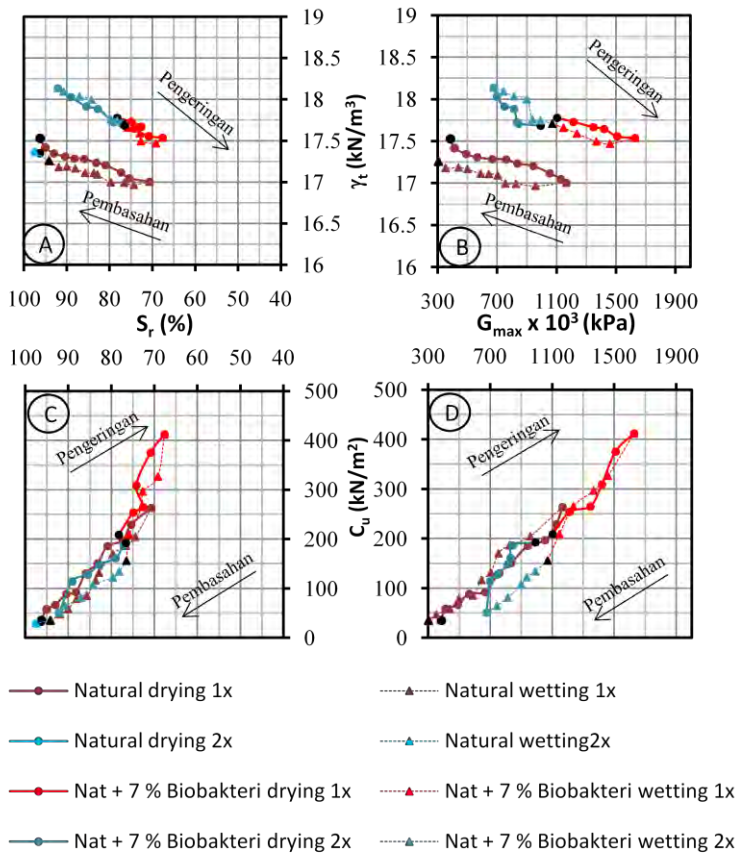
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 1.966 % dan modulus geser maksimum meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.78A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 2x) berat volume tanah pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dan nilai derajat kejenuhan lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai berat volume tanah dan derajat kejenuhan akan diperlihatkan pada tabel 4.35 di bawah ini.





**Gambar 4.78** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**Tabel 4.35** Nilai berat volume tanah dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Tanah	Inisial <i>wetting</i> 2x	
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>2</sup> )	$S_r$ (%)
Natural	1.726	94.144
Nat + 7 % Biobakteri	1.771	76.480

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai berat volume tanah tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 4.6362 % dan derajat kejenuhan meningkat 1.966 % dari tanah natural.

#### **L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.78B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah untuk tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai modulus geser maksimum pada tanah + 7% mikro biobakteri cenderung lebih besar daripada tanah natural. Hal ini disebabkan karena tanah + 7% mikro biobakteri lebih rapat dan padat dibandingkan dengan tanah natural sehingga kecepatan rambat sinyal lebih cepat. Untuk lebih memperjelas besarnya nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah pada kondisi yang sama akan diperlihatkan pada tabel 4.36.

**Tabel 4.36** Nilai berat volume tanah dan nilai modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

J. Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$G_{\max}$ (x 10 <sup>3</sup> kPa)
Natural	17.26	305.149
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	17.71	992.227

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai berat volume tanah tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 4.636 % dan modulus geser maksimum meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### **M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.78C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai kohesi pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan akibat penambahan 7 % mikro biobakteri struktur tanah lebih rapat dari tanah natural sehingga meningkatkan kemampuan tarik menarik antar partikel tanah. Untuk lebih memperjelas nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum akan diperlihatkan pada tabel 4.37 di bawah ini.

**Tabel 4.37** Nilai kohesi dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri dalam kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$S_r$ (%)
Natural	34.822	94.144
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	155.743	76.480

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 1.966% dan kohesi menurun 1.628 % dari tanah natural.

#### N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.78D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan akibat penambahan 7 % mikro biobakteri struktur tanah lebih rapat dari tanah natural sehingga meningkatkan kemampuan tarik menarik antar partikel tanah. Selain itu, tanah yang lebih rapat meningkatkan cepat rambat sinyal. Untuk lebih memperjelas nilai kohesi dan nilai modulus geser maksimum akan diperlihatkan pada tabel 4.38 di bawah ini.

**Tabel 4.38** Nilai modulus geser maksimum dan kohesi pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri dalam kondisi yang sama

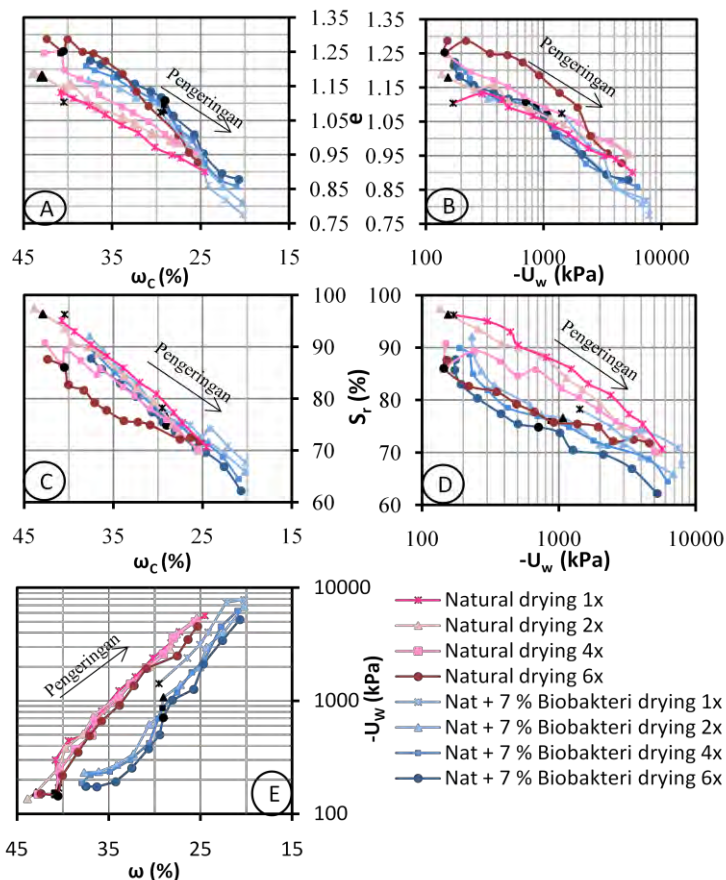
Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$G_{\max}$ (kpa)	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )
Natural	1166.207	2.636
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	1855.060	4.504

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai kohesi tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata menurun 1.628 % dan modulus geser maksimum meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### 4.5.3.4 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang pada Siklus 1x, 2x, 4x dan 6x

Seiring penambahan proses pengeringan (pengeringan berulang) yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.79, 4.80, dan 4.81.



**Gambar 4.79** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.79A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial) nilai angka pori pada tanah natural + 7% mikro biobakteri lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan penambahan 7% mikro biobakteri mengakibatkan berat butiran padat bertambah sehingga volume butiran padat ( $V_s$ ) bertambah mengisi ruang pori sehingga volume pori ( $V_v$ ) menurun. Akibat penambahan volume butiran padat dan menurunnya volume pori tersebut angka pori pun menurun ( $e = V_v/V_s$ ). Untuk memperjelas perubahan nilai angka pori tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama akan diperlihatkan pada tabel 4.39.

**Tabel 4.39** Nilai kadar air dan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	29.527
	$e$	1.104	1.074
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	29.042
	$e$	1.179	1.081
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	29.140
	$e$	1.247	1.095
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	29.052
	$e$	1.253	1.109

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 5.863 % dari tanah natural.

#### **B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.79B adalah kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial) nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi cenderung lebih kecil sehingga kadar air kertas filter whatman menurun sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Tabel 4.40 akan menunjukkan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada kondisi yang sama untuk tanah natural maupun tanah natural + 7% mikro biobakteri.

**Tabel 4.40** Nilai tegangan air pori negatif dan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$-U_w$ (kPa)	170.221	1422.481
	e	1.104	1.074
2x	$-U_w$ (kPa)	154.978	1073.360
	e	1.179	1.081
4x	$-U_w$ (kPa)	150.229	866.292
	e	1.247	1.095
6x	$-U_w$ (kPa)	144.038	709.755
	e	1.253	1.109

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 5.863 % dan tegangan air pori negatif menurun 69.12 % dari tanah natural.

**C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.79C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 3.027 % dari tanah natural.

**D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.79D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan dengan tegangan air pori negatif (*suction*) pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif tanah natural setelah distabilisasi meningkat, sedangkan nilai derajat kejenuhannya menurun. Nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.41.

**Tabel 4.41** Nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$-U_w$ (kPa)	170.221	1422.481
	$S_r$ (%)	96.259	78.262
2x	$-U_w$ (kPa)	154.978	1073.360
	$S_r$ (%)	96.308	76.609
4x	$-U_w$ (kPa)	150.229	866.292
	$S_r$ (%)	86.778	76.040
6x	$-U_w$ (kPa)	144.038	709.755
	$S_r$ (%)	86.040	74.865

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 3.027 % dan tegangan air pori negatif menurun 69.12 % dari tanah natural.

#### E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )

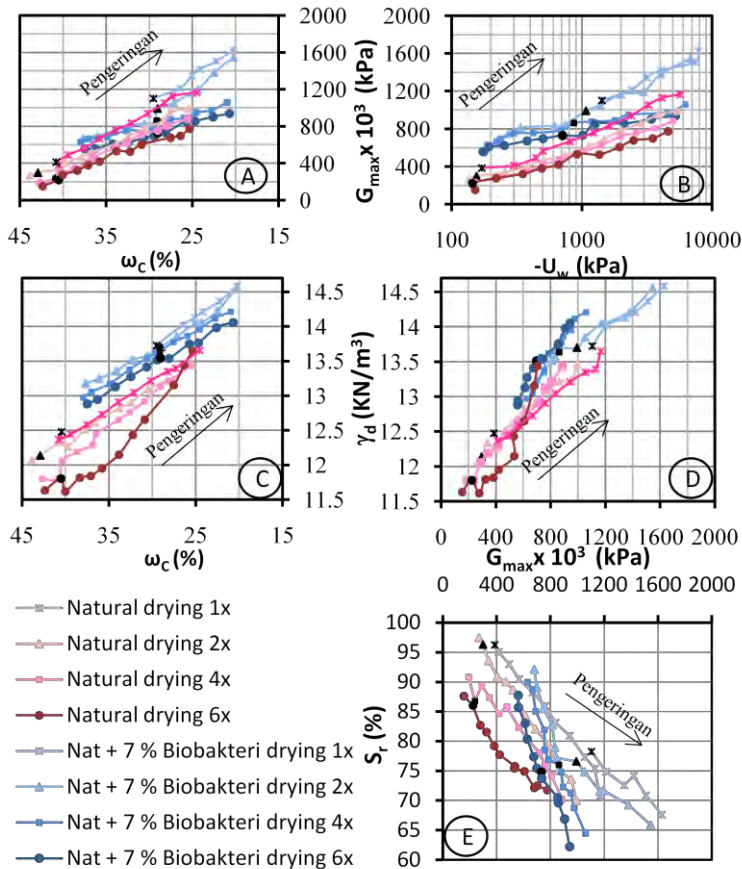
Gambar 4.79E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dan tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif tanah yang distabilisasi meningkat dibandingkan tanah natural. Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.42.

**Tabel 4.42** Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	29.527
	$-U_w$ (kPa)	170.221	1422.481
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	29.042
	$-U_w$ (kPa)	154.978	1073.360
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	29.140
	$-U_w$ (kPa)	150.229	866.292
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	29.052
	$-U_w$ (kPa)	144.038	709.755

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 7% mikro menurun 69.12 % dari tanah natural.



**Gambar 4.80** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.80A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum tanah + 7 % mikro biobakteri meningkat dibandingkan tanah natural. Nilai kadar air dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.43.

**Tabel 4.43** Nilai kadar air dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$\omega_c$ (%)	40,480	29,527
	$G_{max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384,898	1102,372
2x	$\omega_c$ (%)	42,925	29,042
	$G_{max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296,832	992,305
4x	$\omega_c$ (%)	40,826	29,140
	$G_{max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236,569	862,293
6x	$\omega_c$ (%)	40,532	29,052
	$G_{max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222,801	731,118

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 7% mikro meningkat 18.869 % dari tanah natural. Hal ini membuktikan akibat stabilisasi menggunakan bahan tambah diatas meningkatkan kecepatan rambat sinyal yang diakibatkan oleh tanah yang lebih rapat dan padat.

### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ )

Gambar 4.80B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif dan nilai modulus geser maksimum tanah + 7 % mikro biobakteri meningkat. Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.44.

**Tabel 4.44** Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$-U_w$ (kPa)	170,221	1422,481
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384,898	1102,372
2x	$-U_w$ (kPa)	154,978	1073,360
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296,832	992,305
4x	$-U_w$ (kPa)	150,229	866,292
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236,569	862,293
6x	$-U_w$ (kPa)	144,038	709,755
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222,801	731,118

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 7% mikro menurun 69.12 % dan modulus geser maksimum meningkat 18.869 % dari tanah natural.

## H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.80C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kadar air terhadap kepadatan kering pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai kepadatan kering tanah + 7 % mikro biobakteri meningkat dari tanah natural. Nilai kadar air dan kepadatan kering pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.45.

**Tabel 4.45** Nilai kadar air dan kepadatan kering tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$\omega_c$ (%)	40,480	29,527
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,248	1,373
2x	$\omega_c$ (%)	42,925	29,042
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,214	1,370
4x	$\omega_c$ (%)	40,826	29,140
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,180	1,364
6x	$\omega_c$ (%)	40,532	29,052
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,180	1,355

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai kepadatan kering tanah natural + 7% mikro meningkat 4,625 % dari tanah natural. Hal ini disebabkan adanya stabilisasi dengan 7 % mikro biobakteri meningkatkan berat butiran solidnya.

### I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.80D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum dan kepadatan kering + 7% mikro biobakteri meningkat dari tanah natural. Nilai modulus geser maksimum dan kepadatan kering pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.46.

**Tabel 4.46** Nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	384.898	1102.372
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.48	13.73
2x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	296.832	992.305
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.14	13.70
4x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	236.569	862.293
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.64
6x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	222.801	731.118
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.55

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai kepadatan kering tanah natural + 7% mikro meningkat 4.625 % dan modulus geser maksimum meningkat 18.869 % dari tanah natural. Hal ini disebabkan adanya stabilisasi menggunakan bahan tambah diatas tanah menjadi rapat dan padat sehingga kecepatan rambat sinyal semakin cepat.



### J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

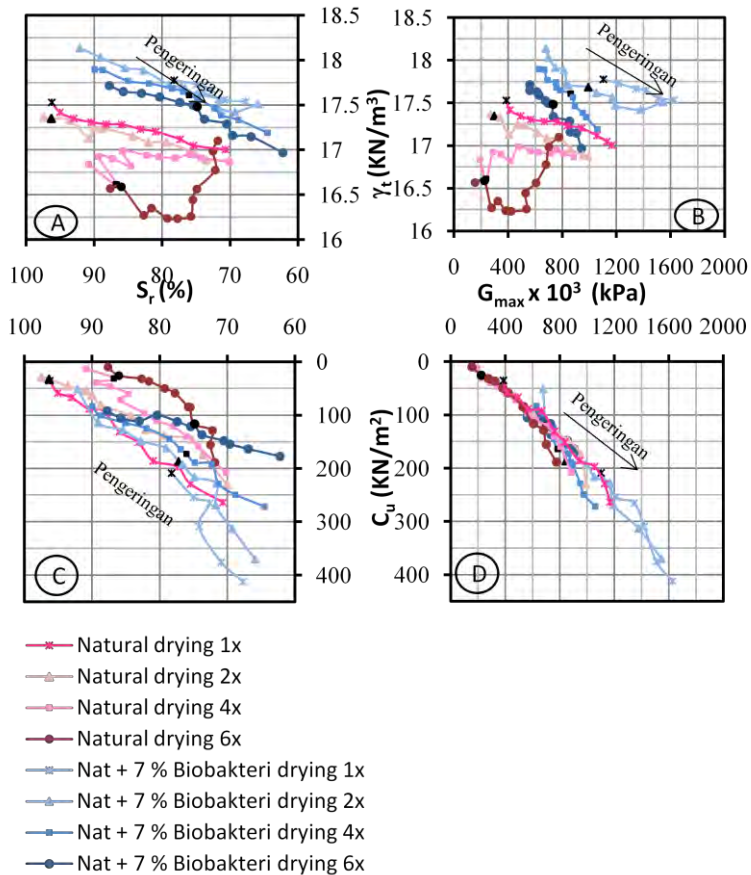
Gambar 4.80E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum tanah + 7% mikro biobakteri meningkat, sedangkan nilai derajat kejenuhannya menurun. Nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.47.

**Tabel 4.47** Nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1102.372
	$S_r$ (%)	96.259	78.262
2x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	992.305
	$S_r$ (%)	96.308	76.609
4x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	862.293
	$S_r$ (%)	86.778	76.040
6x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	731.118
	$S_r$ (%)	86.040	74.865

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro menurun meningkat 3.027 % dan modulus geser maksimum meningkat 18.869 % dari tanah natural.



**Gambar 4.81** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.81A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai derajat kejenuhan tanah + 7 % mikro biobakteri menurun, sedangkan berat volume tanahnya meningkat dari tanah natural. Nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.48.

**Tabel 4.48** Nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$S_r$ (%)	96.259	78.262
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.53	17.78
2x	$S_r$ (%)	96.308	76.609
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.35	17.68
4x	$S_r$ (%)	86.778	76.040
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.61	17.61
6x	$S_r$ (%)	86.040	74.865
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.59	17.48

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 3.027 % dan berat volume tanah meningkat 4.919 % dari tanah natural.

**L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.81B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai berat volume tanah dan nilai modulus geser maksimum tanah + 7 % mikro biobakteri meningkat dari tanah natural. Nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.49.

**Tabel 4.49** Nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	384,898	1102,372
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,753	1,778
2x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	296,832	992,305
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,735	1,768
4x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	236,569	862,293
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,661	1,761
6x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	222,801	731,118
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,659	1,748

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai berat volume tanah tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 4.919 % dan modulus geser maksimum meningkat 18.869 % dari tanah natural.

### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.81C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai derajat kejenuhan tanah + 7 % mikro biobakteri menurun sedangkan nilai kohesinya meningkat dari tanah natural. Nilai derajat kejenuhan dan kohesi pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.50.

**Tabel 4.50** Nilai derajat kejenuhan dan kohesi tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$S_r$ (%)	96.259	78.262
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35.160	208.819
2x	$S_r$ (%)	96.308	76.609
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	32.578	192.328
4x	$S_r$ (%)	86.778	76.040
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	31.071	172.836
6x	$S_r$ (%)	86.040	74.865
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	25.811	116.572

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro meningkat 3.027 % dan kohesi meningkat 10.284 % dari tanah natural. Hal ini membuktikan akibat stabilisasi menggunakan 7 % mikro biobakteri meningkatkan gaya tarik menarik antar partikel yang sejenis dalam hal ini partikel tanah.

#### N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser ( $G_{\max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.81D adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai kohesi dan nilai modulus geser maksimum tanah + 7 % mikro biobakteri meningkat dari tanah natural. Nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.51.

**Tabel 4.51** Nilai modulus geser maksimum dan kohesi tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1102.372
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35.160	208.819
2x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	992.305
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	32.578	192.328
4x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	862.293
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	31.071	172.836
6x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	731.118
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	25.811	116.572

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai kohesi tanah natural + 7% mikro meningkat 10.629 % dan modulus geser maksimum meningkat 18.869 % dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena kemampuan tarik menarik antar partikel tanah meningkat maka kecepatan rambat sinyal semakin cepat pula.

#### 4.5.4 Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural + 6% Kapur, Tanah Natural + 10% Fly Ash dan Tanah Natural + 7% Mikro Biobakteri

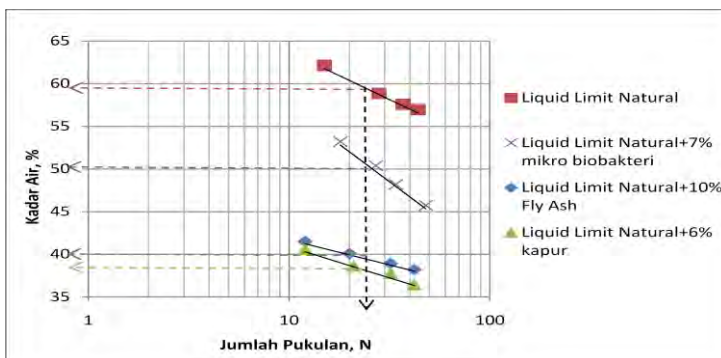
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

##### 4.5.4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri.

#### D. Hasil Pengujian *Atterberg Limits*

Pengujian *Atterberg limits* dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.82.



**Gambar 4.82** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.82 pada ketukan ke 25 didapatkan nilai batas cair dan berdasarkan pengujian di laboratorium didapat nilai batas plastis. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Sehingga dari hasil pengujian didapat juga nilai indeks plastisitas. Nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas yang dapat dilihat pada tabel 4.52.

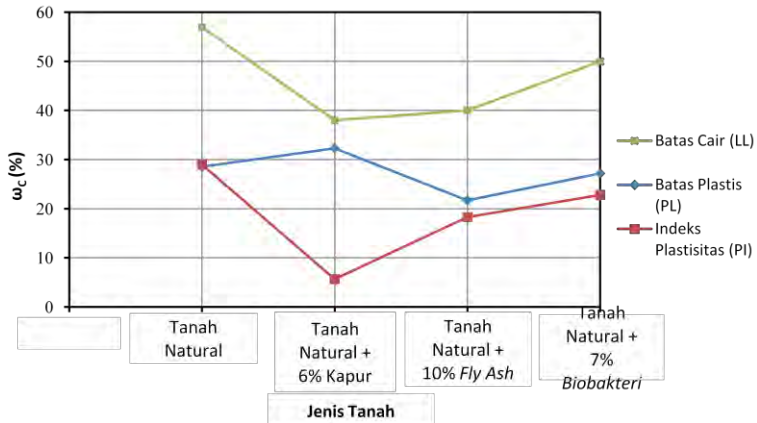
**Tabel 4.52** Perbandingan nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi

Parameter	Jenis Tanah			
	natural	natural + 6% kapur	natural + 10% <i>fly ash</i>	natural + 7% mikro biobakteri
Batas Cair (LL)	57%	38%	40%	50%
Batas Plastis (PL)	28.54%	32.32%	21.71%	27.21%
Indeks Plastisitas (PI)	28.96%	5.68%	18.29%	22.80%

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Terlihat bahwa nilai indeks plastisitas pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dari nilai indeks plastisitas pada tanah natural. Hal ini menunjukkan bahwa semakin menurunnya nilai indeks plastisitas semakin bagus karakteristik tanahnya.



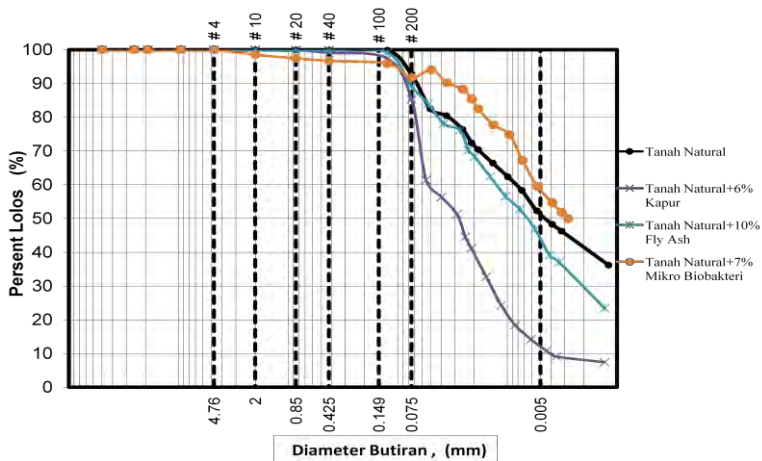


**Gambar 4.83** Hasil pengujian batas batas Atterberg pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.83 nilai batas cair dan nilai indeks plastisitas pada tanah natural + 6% kapur mengalami penurunan paling besar. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan butiran kasar dan penurunan butiran halus pada analisa ukuran butir.

#### E. Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri dapat dilihat pada gambar 4.84.



**Gambar 4.84** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butiran diatas didapat persentase masing-masing fraksi tanah pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri yang dapat dilihat pada tabel 4.53.

**Tabel 4.53** Persentase fraksi tanah pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi

Fraksi Tanah	Jenis Tanah			
	natural	natural + 6% kapur	natural + 10% <i>fly ash</i>	natural + 7% mikro biobakteri
Kerikil ( <i>Gravel</i> )	0%	0%	0%	0%
Pasir ( <i>Sand</i> )	7.31%	14.67%	10.83%	8.21%
Lanau ( <i>Silt</i> )	56.49%	77.91%	65.74%	41.88%
Lempung ( <i>Clay</i> )	36.20%	7.42%	23.43%	49.91%

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Terlihat bahwa penambahan stabilisasi menyebabkan berkurangnya butiran halus dan bertambahnya butiran kasar. Semakin sedikit butiran halus yang terkandung dalam tanah semakin baik karakteristik tanah tersebut. Dalam pengujian ini tanah natural + 6% kapur memiliki butiran halus paling kecil.

#### **F. Klasifikasi Tanah**

Berdasarkan sifat-sifat fisik diatas, dapat kita kelompokkan tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri kedalam klasifikasi menurut USCS dan menurut AASHTO yang dapat dilihat pada tabel 4.54.

**Tabel 4.54** Perbandingan klasifikasi tanah pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi

Klasifikasi Tanah	Jenis Tanah			
	natural	natural + 6% kapur	natural + 10% <i>fly ash</i>	natural + 7% mikro biobakteri
USCS	CH	ML	CL	CL
AASHTO	A - 7 - 6	A - 4	A - 6	A - 7 - 6

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

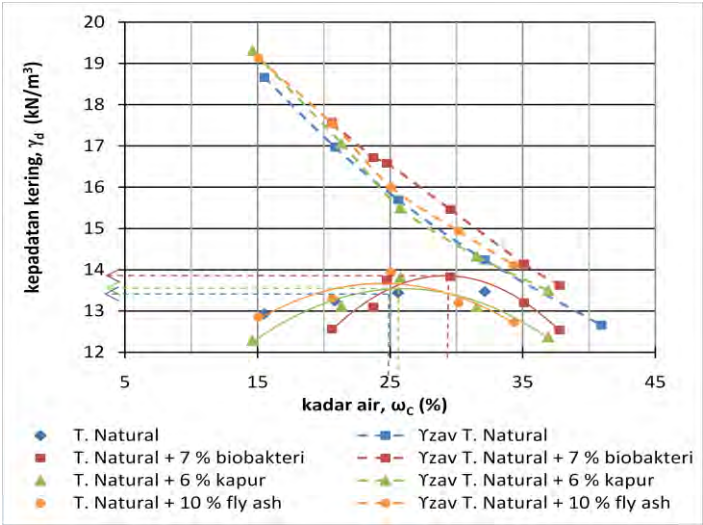
Terlihat akibat adanya penambahan stabilisasi, tanah natural mengalami peningkatan klasifikasi tanah baik menurut USCS dan menurut AASHTO. Hal ini disebabkan karena bahan stabilisasi membuat berkurangnya butiran halus yang terkandung pada tanah natural dan dapat menurunkan nilai indeks plastisitas. Dalam pengujian ini tanah natural + 6% kapur memiliki klasifikasi paling baik.

#### 4.5.4.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika dikenai beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri.

#### F. Hasil Pengujian Proctor Standar

Hasil pengujian Proctor standar dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri dapat dilihat pada gambar 4.85.



**Gambar 4.85** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan grafik pemadatan diatas didapat nilai kepadatan kering maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri yang dapat dilihat pada tabel 4.55.

**Tabel 4.55** Perbandingan nilai kepadatan kering maksimum pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi

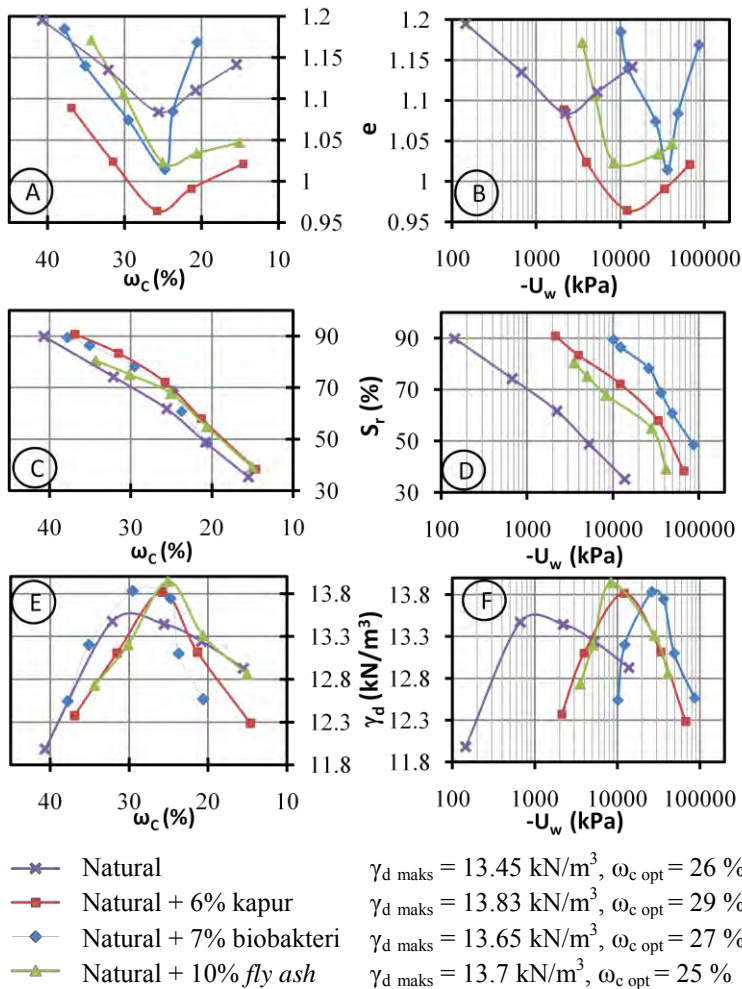
Parameter	Jenis Tanah			
	natural	natural + 6% kapur	natural + 10% <i>fly ash</i>	natural + 7% mikro biobakteri
$\omega_c$ opt. (%)	26	27	25	29
$\gamma_d$ maks. (kN/m <sup>3</sup> )	13.45	13.65	13.7	13.83

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Terlihat akibat adanya penambahan stabilisasi, tanah natural mengalami peningkatan nilai kepadatan kering. Hal ini disebabkan karena bahan stabilisasi membuat berkurangnya butiran halus dan bertambahnya butiran kasar yang terkandung pada tanah natural. Dalam pengujian ini tanah natural + 7% mikro biobakteri memiliki nilai kepadatan kering paling besar.

**G. Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural dengan Tanah Natural + 6% Kapur, Tanah Natural + 10% *Fly Ash* dan Tanah Natural + 7% Mikro Biobakteri**

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri.



**Gambar 4.86** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**a) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.86A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Tampak bahwa untuk kadar air yang sama (misal 25 %) tanah natural memiliki angka pori sebesar 1.084 setelah distabilisasi dengan 10% *fly ash* berkurang menjadi 1.023, distabilisasi dengan 7% mikro biobakteri berkurang menjadi 1.014, dan distabilisasi dengan 6% kapur berkurang menjadi 0.964. Perubahan nilai tersebut menunjukkan angka pori tanah yang telah distabilisasi cenderung lebih kecil dibandingkan tanah natural, yang diakibatkan oleh berat butiran solid yang meningkat.

Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori berarti rongga pada tanah berkurang maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, dan sebaliknya. Hal ini berarti bahwa benda uji yang distabilisasi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan benda uji natural. Pada kasus ini kepadatan yang paling tinggi terdapat pada benda uji yang distabilisasi dengan mikro biobakteri.

**b) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.86B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Dalam gambar 4.5B ditunjukkan bahwa untuk tegangan air pori negatif yang sama, angka pori tanah natural lebih besar dibanding dengan angka pori tanah yang distabilisasi. Peristiwa hidrasi mengakibatkan berkurangnya berat air dan bertambahnya berat dan volume butiran solidnya. Agar tegangan air pori negatif tetap atau dengan kata lain ketinggian air sama, maka peningkatan volume butiran solid harus diimbangi dengan pengurangan volume pori, yang akan



mengakibatkan mengecilnya angka pori. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan sifat-sifat fisik tanah juga dipengaruhi tegangan air pori negatif.

**c) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.86C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kadar air dengan derajat kejenuhan berbanding lurus, yaitu semakin besar kadar air semakin meningkat derajat kejenuhannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa, sebagai contoh untuk kadar air sebesar  $\pm 25\%$ , tanah natural memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 61.722\%$ , tanah natural + 6% kapur memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 72.254\%$ , tanah natural + 10% *fly ash* memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 67.815\%$ , dan tanah natural + 7% mikro biobakteri memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 68.724\%$ . Dari contoh tersebut menunjukkan bahwa tanah natural yang telah distabilisasi, derajat kejenuhannya meningkat. Hal ini disebabkan oleh menurunnya volume pori, karena volume pori dan volume air merupakan rasio dari derajat kejenuhan ( $S_r = V_w/V_v$ ).

**d) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.86D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin besar tegangan air pori negatif semakin menurun derajat kejenuhannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa, sebagai contoh untuk derajat kejenuhan sebesar 70%, tanah natural memiliki tegangan air pori negatif sebesar 1198.553 kPa, tanah natural + 6% kapur memiliki

tegangan air pori negatif sebesar 15476.880 kPa, tanah natural + 10% *fly ash* memiliki tegangan air pori negatif sebesar 7400.714 kPa, dan tanah natural + 7% mikro biobakteri memiliki tegangan air pori negatif sebesar 35010.337 kPa. Dari contoh tersebut menunjukkan bahwa tanah natural yang telah distabilisasi tegangan air pori negatifnya meningkat. Hal ini disebabkan oleh penambahan bahan stabilisasi yang mengakibatkan bertambahnya butiran solid dan berkurangnya volume pori sehingga terjadi penurunan kadar air akibat adanya hidrasi.

**e) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.86E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tanah natural + 7 % mikro biobakteri memiliki kepadatan kering maksimum yang paling tinggi yaitu ( $13.83 \text{ kN/m}^3$ ) dibandingkan dengan tanah natural + 10 % *fly ash* ( $13.7 \text{ kN/m}^3$ ), tanah natural + 6 % kapur ( $13.65 \text{ kN/m}^3$ ), dan tanah natural ( $13.45 \text{ kN/m}^3$ ). Hal ini menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan bahan tambah mikro biobakteri, kapur, maupun *fly ash* dapat meningkatkan kepadatan tanah tanggul sungai Bengawan Solo. Peningkatan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) pada tanah yang telah distabilisasi disebabkan berat dan volume butiran solid ( $W_s$  dan  $V_s$ ) bertambah dan volume pori berkurang sehingga volume total pun berkurang. Dengan demikian, karena definisi kepadatan kering adalah ( $\gamma_d = W_s/V$ ), bertambahnya berat butiran solid dan menurunnya volume total menyebabkan meningkatnya kepadatan kering.

Perubahan lain yang terjadi yaitu pada kadar air optimum tanah natural + 7 % mikro biobakteri ( $\omega_{\text{copt}} = 29 \%$ ), tanah natural + 6 % kapur ( $\omega_{\text{copt}} = 27 \%$ ), tanah natural + 10 % *fly ash* ( $\omega_{\text{copt}} = 25 \%$ ), tanah natural ( $\omega_{\text{copt}} = 26 \%$ ). Pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri dan tanah natural + 6 % kapur untuk mencapai kepadatan kering maksimum memerlukan air yang lebih banyak dibandingkan dengan tanah natural. Pada tanah natural + 10 % *fly*

*ash* air yang diperlukan untuk mencapai kepadatan kering maksimum lebih sedikit dibandingkan dengan tanah natural.

**f) Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.86F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Kurva tersebut menunjukkan bahwa titik optimum pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri memiliki tegangan air pori negatif yang paling tinggi (26191.88 kPa) dibandingkan dengan tanah natural + 10 % *fly ash* (8400.382 kPa), tanah natural + 6 % kapur (12094.587 kPa) , dan tanah natural (2217.531 kPa).

Besarnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) akan bertambah jika kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) semakin naik. Hal ini disebabkan karena jika tanah yang memiliki kepadatan kering yang tinggi kadar air pada kertas filter Whatman akan semakin mengecil karena air yang terserap lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang memiliki kepadatan yang kecil. Semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

Kurva tersebut menunjukkan juga kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi meningkat dibandingkan tanah natural. Kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) adalah perbandingan antara berat butiran solid dengan volume total ( $\gamma_d = W_s/V$ ). Peningkatan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) disebabkan karena dengan adanya stabilisasi pada tanah menyebabkan berat dan volume butiran solid ( $W_s$  dan  $V_s$ ) bertambah dan volume porinya berkurang. Maka penambahan berat butiran solid dan pengurangan volume pori, yang berarti pengurangan volume totalnya menyebabkan meningkatnya kepadatan kering.

### H. Hasil Pengujian Triaksial

Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri yang dapat dilihat pada tabel 4.56.

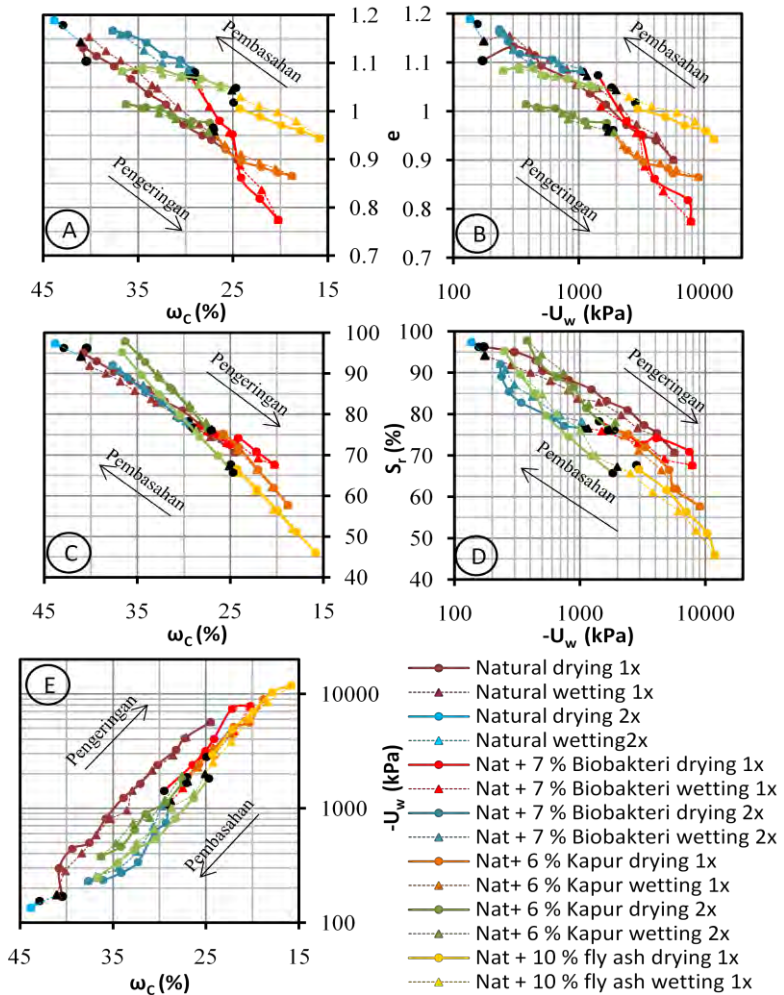
**Tabel 4.56** Hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi

Parameter	Jenis Tanah			
	natural	natural + 6% kapur	natural + 10% <i>fly ash</i>	natural + 7% mikro biobakteri
$\phi$ ( $^{\circ}$ )	4.3	1.8	2.7	2.6
c (kN/m <sup>2</sup> )	55.6	589	123	221.1
E <sub>1</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	3970.8	117712	12875.7	23025.5
E <sub>2</sub> (kNm <sup>2</sup> )	3810.86	118349.4	13175	15660.63

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.5.4.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_i$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah yang distabilisasi dari siklus pengeringan-pembasaan pada siklus pertama dan kedua.



**Gambar 4.87** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.87A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan adanya stabilisasi menggunakan bahan – bahan di atas yang dipengaruhi proses pengeringan dan pembasahan mengalami perubahan nilai angka pori. Tabel 4.57 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi dibandingkan nilai angka pori tanah natural.

**Tabel 4.57** Persentase perubahan nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
e	-2.279	6.251	7.238

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan parameter angka pori komposisi tanah natural + 6 % kapur paling baik dibandingkan komposisi campuran yang lain karena tanah natural + 6 % kapur mengalami penurunan nilai angka pori paling besar, berarti ruang porinya makin kecil.

### B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.87B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif berubah dari natural. Tabel 4.58

memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan natural.

**Tabel 4.58** Persentase perubahan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
e	-2.279	6.251	7.238
$-U_w$ (kpa)	-55.893	-67.077	-65.279

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.58 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan angka pori paling besar. Penurunan nilai angka pori yang besar berarti menurunkan ruang pori yang besar sehingga tanah menjadi rapat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter angka pori dan tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

### C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.87C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi

menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai derajat kejenuhan berubah dari natural. Tabel 4.59 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan nilai angka pori tanah natural.

**Tabel 4.59** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r(\%)$	8.336	0.704	1.967

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.59 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.87D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan berubah dari natural. Tabel 4.60 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai tegangan air



pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.60** Persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55.893	-67.077	-65.279
Sr (%)	8.336	0.704	1.967

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.60 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain. Komposisi tanah + 6 % kapur juga merupakan komposisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.87E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 6% kapur, tanah

natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai tegangan air pori negatif berubah dari natural. Tabel 4.61 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.61** Persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

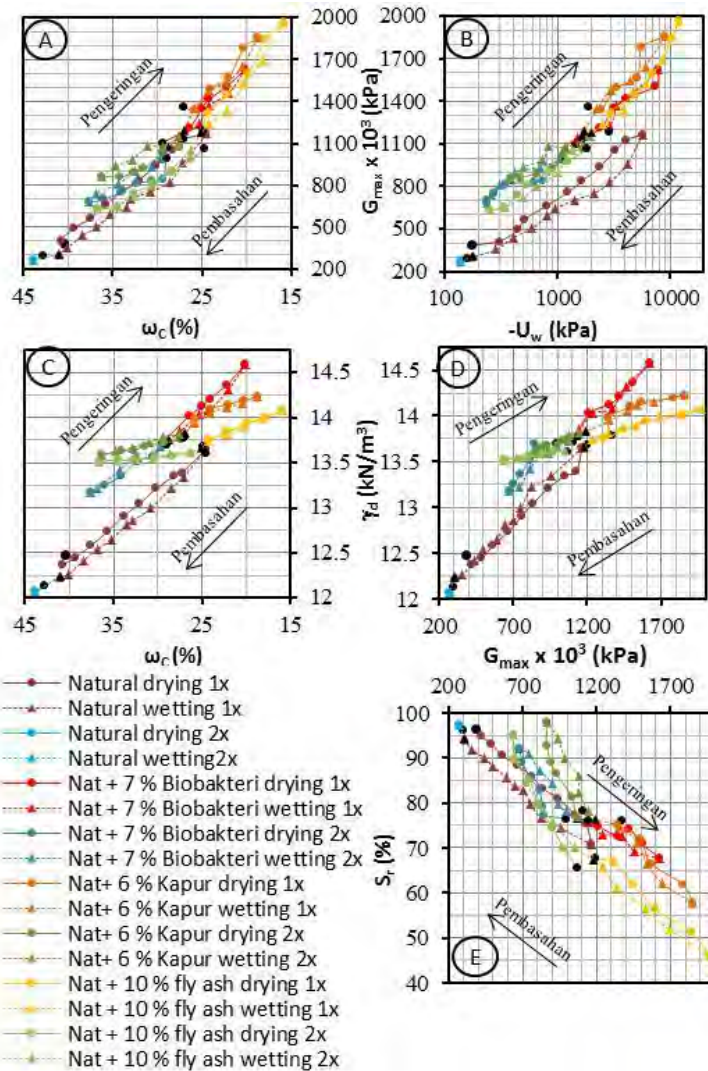
Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55.893	-67.077	-65.279

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.61 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.



**Gambar 4.88** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.88A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.62 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.62** Rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$G_{max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.62 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.88B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif

dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.63 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.63** Persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55.893	-67.077	-65.279
$G_{max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.63 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter modulus geser maksimum dan tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

## H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.88C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai kepadatan kering berubah dari natural. Tabel 4.64 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.64** Persentase perubahan nilai kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	4.887	3.694	4.372

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.64 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan kepadatan kering paling besar. Hal ini menggambarkan struktur tanah yang paling rapat. Jadi, berdasarkan parameter kepadatan kering komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

## I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.88D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut

memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.65 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.65** Persentase perubahan nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	4.887	3.694	4.372
$G_{max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.65 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan kepadatan kering paling besar. Hal ini menggambarkan struktur tanah yang paling rapat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter kepadatan kering dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.88E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash*

dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.66 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.66** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r(\%)$	8.336	0.704	1.967
$G_{\max}(\text{kpa})$	29.340	5.407	20.060

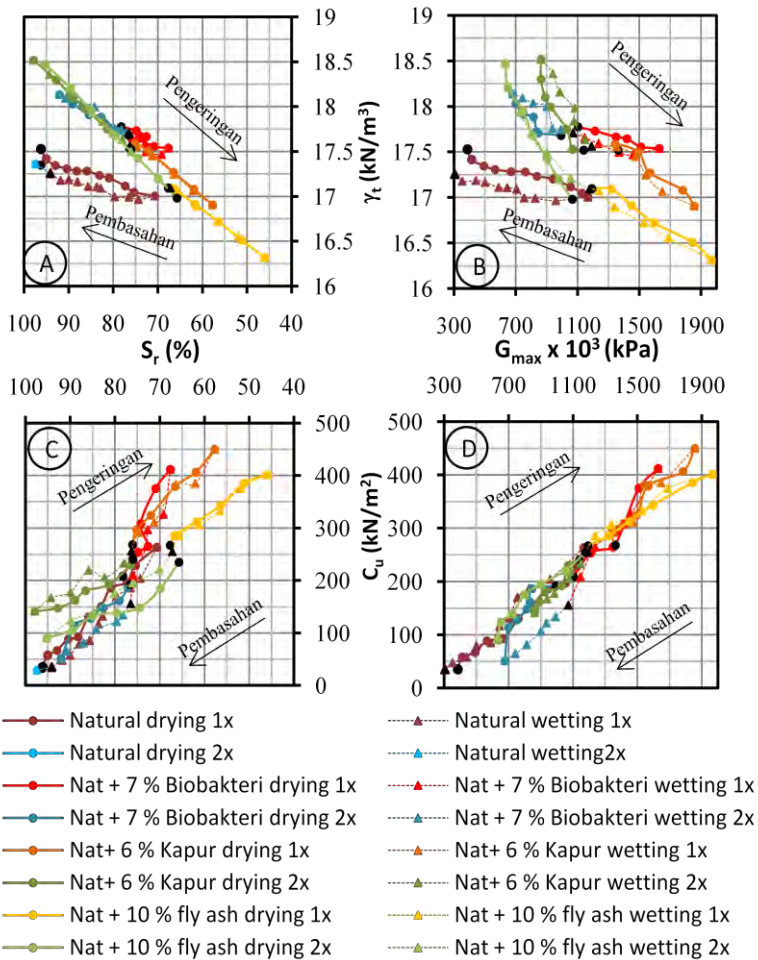
Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.66 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.





**Gambar 4.89** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.89A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah berubah dari natural. Tabel 4.67 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.67** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	5.385	3.720	4.636
$S_r$ (%)	8.336	0.704	1.967

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.67 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan berat volume tanah paling besar. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter berat volume tanah dan derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur

adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.89B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.68 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.68** Persentase perubahan nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	5.385	3.720	4.636
$G_{\max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.68 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan berat volume tanah paling besar. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan modulus geser

maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.89C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai derajat kejenuhan dan kohesi berubah dari natural. Tabel 4.69 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan kohesi pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.69** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan kohesi pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r$ (%)	8.336	0.704	1.967
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	30.879	4.209	-1.629

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.69 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan kohesi paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan tarik menarik

antar partikel tanah yang kuat. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan kohesi komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.89D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai kohesi dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.70 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.70** Persentase perubahan nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	30.879	4.209	-1.629
$G_{max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

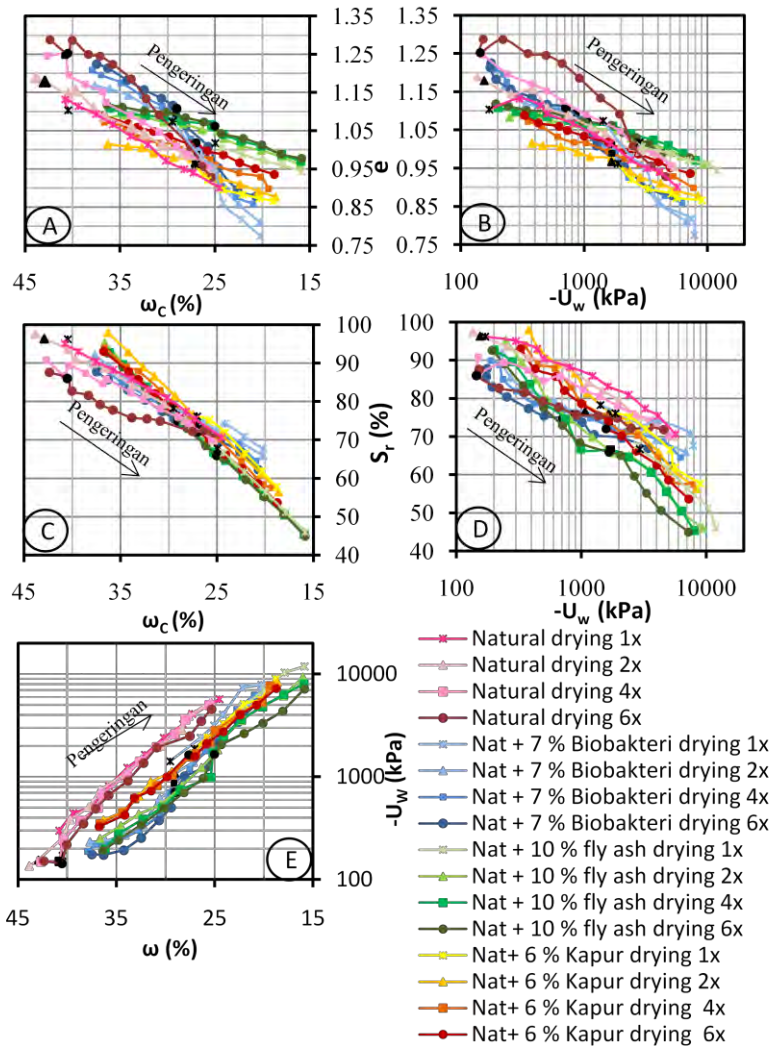
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.70 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan kohesi paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan tarik menarik

antar partikel tanah yang kuat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter kohesi dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **4.5.4.4 Analisa Terhadap Benda Uji Yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang**

Seiring penambahan proses pengeringan berulang yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.90, 4.91, dan 4.92. Lebih spesifik gambar tersebut adalah grafik hubungan antara sifat fisik ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), mekanik ( $C_u$ ,  $-U_w$ ), dan dinamik ( $G_{max}$ ) tanah natural dan tanah yang distabilisasi dari proses pengeringan berulang.



**Gambar 4.90** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.90A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai angka pori berubah dari natural. Tabel 4.71 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi dibandingkan nilai angka pori tanah natural.

**Tabel 4.71** Persentase perubahan nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
e	-2,087	4,739	5,863

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.71 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase penurunan angka pori paling besar. Penurunan nilai angka pori yang besar berarti menurunkan ruang pori yang besar sehingga tanah menjadi rapat. Jadi, berdasarkan parameter angka pori komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

### B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.90B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva



tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai angka pori dan tegangan air pori negatif berubah dari natural. Tabel 4.72 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan natural.

**Tabel 4.72** Persentase perubahan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
e	-2,087	4,739	5,863
-U <sub>w</sub> (kpa)	-55,800	-69,389	-69,120

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.72 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan angka pori paling besar. Penurunan nilai angka pori yang besar berarti menurunkan ruang pori yang besar sehingga tanah menjadi rapat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter angka pori dan tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

### C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.90C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan berubah dari natural. Tabel 4.73 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan nilai angka pori tanah natural.

**Tabel 4.73** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r$ (%)	7,977	1,932	3,027

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.73 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

### D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.90B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural, tanah

natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan berubah dari natural. Tabel 4.74 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan natural.

**Tabel 4.74** Persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55,800	-69,389	-69,120
$S_r$ (%)	7,977	1,932	3,027

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.74 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Sedangkan untuk nilai derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

### E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )

Gambar 4.90E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (suction) dengan kadar air pada tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada siklus berulang. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif berubah dari natural. Tabel 4.75 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.75** Persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

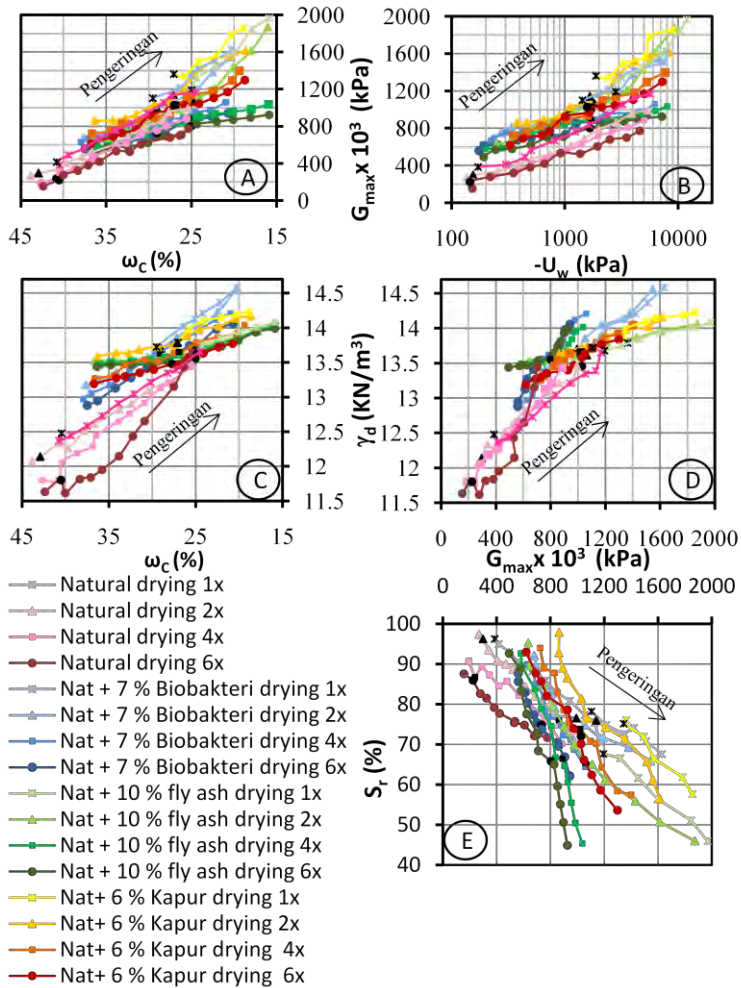
Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55,800	-69,389	-69,120

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.75 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.



**Gambar 4.91** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.91A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.76 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.76** Rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$G_{max}$ (kpa)	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.76 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.91B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.77 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.77** Persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55,800	-69,389	-69,120
$G_{max}$ (kpa)	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.77 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter modulus geser maksimum dan tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

## H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.91C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai kepadatan kering berubah dari natural. Tabel 4.78 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.78** Persentase perubahan nilai kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	4,738	4,506	4,625

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.78 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan kepadatan kering paling besar. Hal ini menggambarkan struktur tanah yang paling rapat. Jadi, berdasarkan parameter kepadatan kering komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

## I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.87D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut



memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.79 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.79** Persentase perubahan nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	4,738	4,506	4,625
$G_{max}$ (kpa)	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.79 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan kepadatan kering paling besar. Hal ini menggambarkan struktur tanah yang paling rapat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter kepadatan kering dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.91E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash*

dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.80 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.80** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

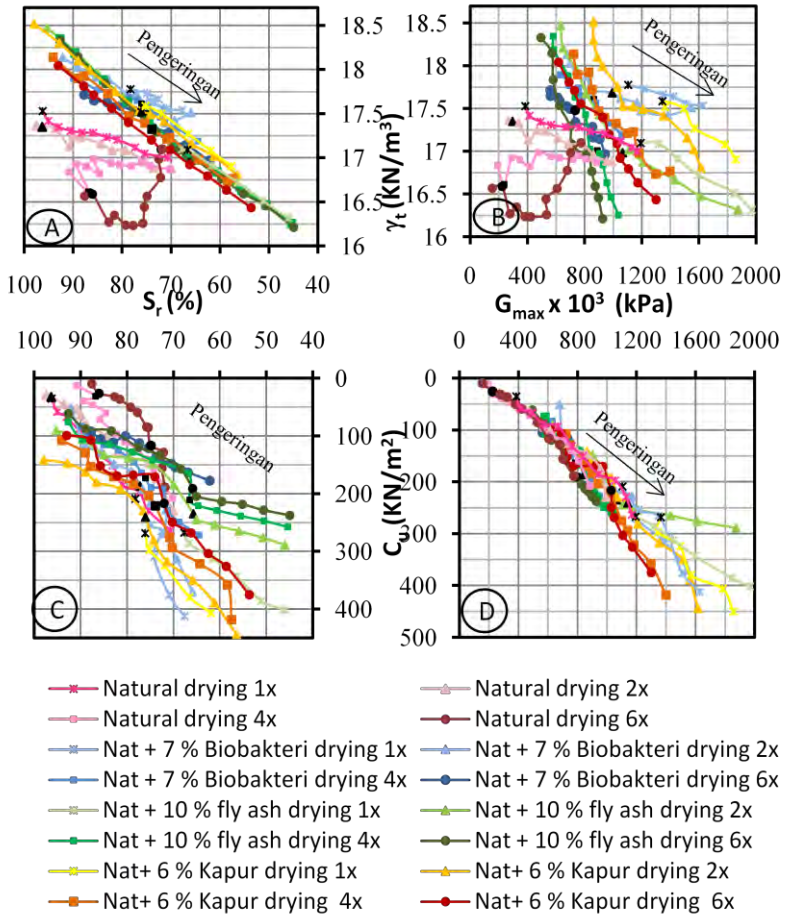
Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r(\%)$	7,977	1,932	3,027
$G_{\max}(\text{kpa})$	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.80 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.



**Gambar 4.92** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.92A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah berubah dari natural. Tabel 4.81 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.81** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	5,209	4,437	4,919
$S_r$ (%)	7,977	1,932	3,027

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.81 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan berat volume tanah paling besar. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter berat volume tanah dan derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur

adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.92B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.82 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.82** Persentase perubahan nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	5,209	4,437	4,919
$G_{\max}$ (kpa)	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.82 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan berat volume tanah paling besar. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan modulus geser

maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.92C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan dan kohesi berubah dari natural. Tabel 4.83 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan kohesi pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.83** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan kohesi pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r$ (%)	7,977	1,932	3,027
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35,110	4,051	10,284

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.83 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan kohesi paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan tarik menarik

antar partikel tanah yang kuat. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan kohesi komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser ( $G_{\max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.92D adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai kohesi dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.84 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.84** Persentase perubahan nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35,110	4,051	10,284
$G_{\max}$ (kpa)	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.84 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan kohesi paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan tarik menarik antar partikel tanah yang kuat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan

modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter kohesi dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **4.6 Hasil Rekapitulasi**

Berikut adalah tabel rekapitulasi persentase perubahan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah.

##### **4.6.1 Rekapitulasi Perubahan Nilai Sifat Fisik, Mekanik, dan Dinamik Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus 1x dan 2x**

Tanah natural dan tanah yang distabilisasi yang mengalami proses pengeringan dan pembasahan tentu akan mengalami perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik. Tabel 4.85 memperlihatkan perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah yang distabilisasi akibat siklus pengeringa-pembasahan 1x dan 2x.



**Tabel 4.85** Persentase perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik benda uji akibat mengalami proses pengeringan dan pembasahan siklus 1x dan 2x

Parameter Tanah	Akibat Proses	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)			
		Natural	Tanah Natural Ditambah		
			6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ kN/m <sup>3</sup>	<i>drying</i>	-2.847	-4.435	-6.322	-1.919
	<i>wetting</i>	-0.495	4.653	6.413	1.691
$\gamma_d$ kN/m <sup>3</sup>	<i>drying</i>	10.163	2.333	1.830	5.144
	<i>wetting</i>	-0.788	-2.292	-2.022	-4.959
$S_r$ %	<i>drying</i>	-26.927	-23.250	-31.528	-15.193
	<i>wetting</i>	1.732	30.264	43.899	16.744
$e$	<i>drying</i>	-18.766	-7.378	-5.233	-17.640
	<i>wetting</i>	3.729	8.288	7.182	23.639
$-U_w$ kPa	<i>drying</i>	3312.321	359.840	477.191	406.809
	<i>wetting</i>	137.735	-79.416	-85.368	-82.609
$C_u$ kN/m <sup>2</sup>	<i>drying</i>	628.737	69.023	105.310	186.118
	<i>wetting</i>	16.880	-43.967	-50.571	-64.634
$G_{max}$ kPa	<i>drying</i>	218.590	34.106	66.510	46.972
	<i>wetting</i>	2.010	-31.685	-43.151	-35.432

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Tabel 4.86 memperlihatkan perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah yang distabilisasi pada proses pengeringan pada siklus 1x dan 2x, ditinjau

persentase penurunan atau kenaikan dari kondisi awal sampai kondisi akhir di siklus *wetting* 2x.

**Tabel 4.86** Persentase perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik benda uji yang mengalami proses pengeringan dan pembasahan siklus 1x dan 2x

Parameter	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)			
	Tanah Natural	Tanah dicampur		
		6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t (\text{kN/m}^3)$	-1.030	0.006	-0.686	-0.528
$\gamma_d (\text{kN/m}^3)$	-2.734	-0.035	-0.480	-0.156
$S_r (\%)$	0.051	-0.080	-2.944	-2.112
$e$	6.796	0.473	3.022	0.662
$-U_w (\text{kpa})$	-8.955	-11.109	-35.097	-24.543
$C_u (\text{kN/m}^2)$	-7.344	-10.333	-12.069	-7.897
$G_{\max} (\text{kpa})$	-22.880	-16.392	-10.658	-9.985

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.6.2 Rekapitulasi Perubahan Nilai Sifat Fisik, Mekanik, dan Dinamik Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang

Tanah natural dan tanah yang distabilisasi yang mengalami proses pengeringan berulang tentu akan mengalami perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik. Tabel 4.87 memperlihatkan persentase penurunan atau kenaikan dari pengeringan 1x sampai pengeringan 6x untuk nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah yang distabilisasi.

**Tabel 4.87** Persentase perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik benda uji yang mengalami proses pengeringan berulang

Parameter	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)			
	Tanah Natural	Tanah Natural Ditambah		
		6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	-4.182	-2.785	-0.687	-2.389
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	-4.052	-2.877	-0.733	-2.809
$S_r$ (%)	-8.880	-6.381	-2.316	-4.755
$e$	10.669	8.494	3.888	8.529
$-U_w$ (kpa)	-18.465	-16.273	-44.445	-50.469
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	-37.216	-18.235	-34.471	-49.680
$G_{max}$ (kpa)	-35.318	-28.656	-43.514	-38.597

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.6.3 Rekapitulasi Perubahan Nilai Sifat Fisik, Mekanik, dan Dinamik Tanah yang distabilisasi Terhadap Tanah Natural

Dengan adanya penambahan bahas stabilisator yaitu kapur, *fly ash*, dan mikro biobakteri nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akan mengalami perubahan. Tabel 4.88 memperlihatkan persentase perubahan sifat fisik, mekanik, dan dinamik dari tanah yang distabilisasi pada proses pengeringan-pembasahan siklus 1x, 2x dan pengeringan berulang dibandingkan dengan tanah natural.

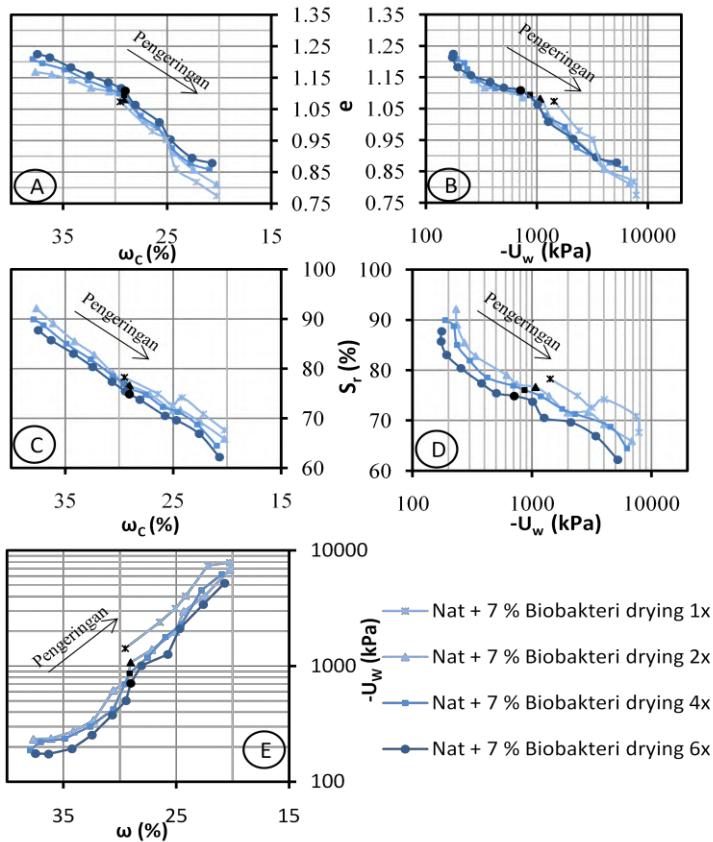
**Tabel 4.88** Persentase perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	5.209	4.437	4.919
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	4.738	4.506	4.625
$s_r$ (%)	7.977	1.932	3.027
$e$	-2.087	4.739	5.863
$-U_w$ (kpa)	-55.800	-69.389	-69.120
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35.110	4.051	10.284
$G_{max}$ (kpa)	30.551	6.005	18.869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



**Gambar 4.46** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 7% mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.4.4.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.46A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan jumlah proses pengeringan mengakibatkan nilai angka pori tanah natural membesar. Akibat proses pengeringan berulang nilai angka pori meningkat 8.529 %.

#### **4.4.4.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.46B adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural nilai angka pori semakin membesar dan nilai tegangan air pori negatif menurun. Akibat pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif menurun 50.469 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.46C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural nilai derajat kejenuhan mengalami penurunan. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.46D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan dengan tegangan air pori negatif (*suction*) pada tanah natural + 7% mikro

biobakteri. Pada gambar terlihat bahwa semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dan nilai tegangan air pori negatif menurun 50.469 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.5 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

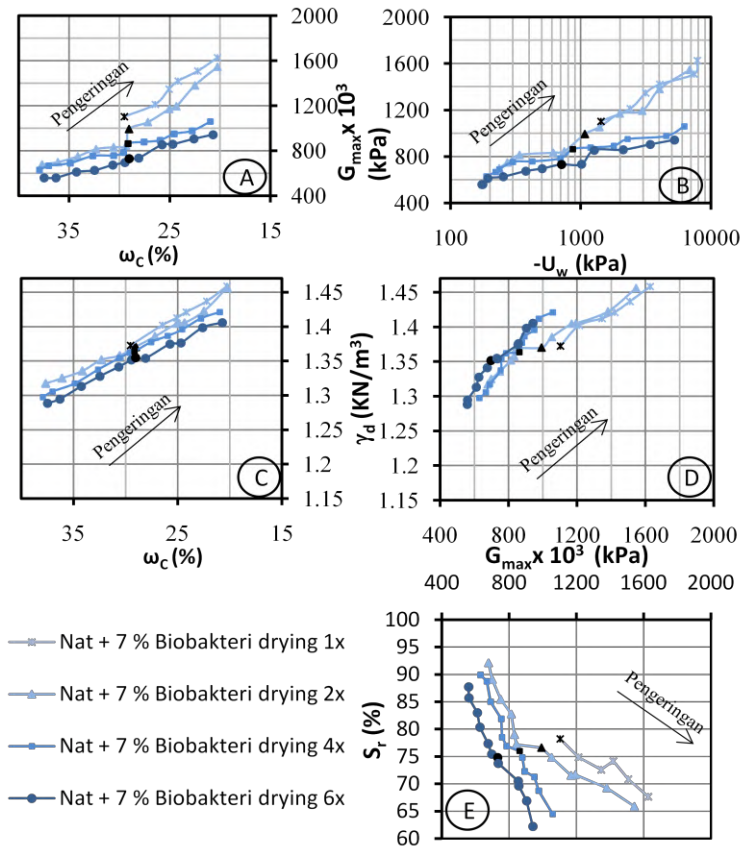
Gambar 4.46E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dan tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif semakin turun dengan kadar air yang cenderung naik turun. Akibat pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif menurun 50.469 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.6 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.47A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Akibat pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.7 Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.47B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada kurva tersebut terlihat bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin turun.



**Gambar 4.47** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 7% mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



Akibat pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dan nilai tegangan air pori negatif menurun 50.469 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.8 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

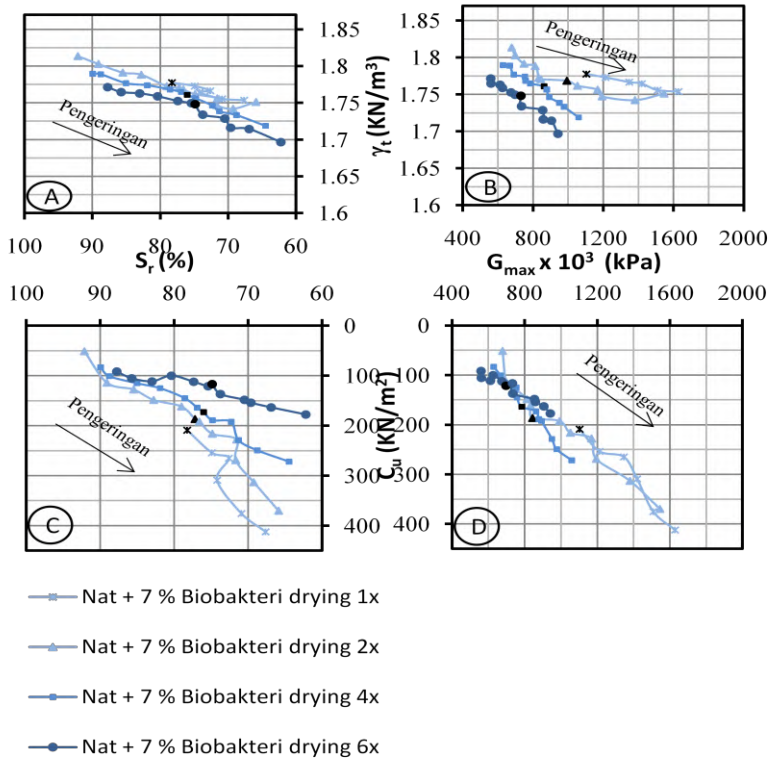
Gambar 4.47C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kadar air terhadap kepadatan kering pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan nilai kepadatan kering akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Akibat pengeringan berulang nilai kepadatan kering menurun 2.809 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.9 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.47D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Dari kurva tersebut terlihat bahwa akibat proses pengeringan yang berulang nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum mengalami penurunan. Akibat pengeringan berulang nilai kepadatan kering menurun 2.809 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.47E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Dari kurva tersebut terlihat bahwa akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai derajat kejenuhan dan nilai modulus geser maksimum mengalami penurunan. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dari kondisi awal.



**Gambar 4.48** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural + 7% mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **4.4.4.11 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.48A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai berat volume tanah menurun 2.389 % dan nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.48B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dan nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.13 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.48C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada gambar tersebut menunjukkan semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka derajat kejenuhan dan kohesi semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan menurun 4.755 % dan nilai kohesi menurun 49.68 % dari kondisi awal.

#### **4.4.4.14 Hubungan Antara Nilai Modulus Geser ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.48D adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Pada gambar tersebut menunjukkan semakin banyak proses pengeringan yang dilewati, maka modulus geser maksimum dan kohesi semakin turun. Akibat pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum menurun 38.597 % dan nilai kohesi menurun 49.68 % dari kondisi awal.

### **4.5 Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural dengan Tanah yang Distabilisasi**

Pada bagian ini akan dibahas tentang perbandingan hasil pengujian masing-masing tanah yang distabilisasi dengan tanah natural. Baik pengujian sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan pengujian akibat proses *drying-wetting*.

#### **4.5.1 Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural + 6% Kapur**

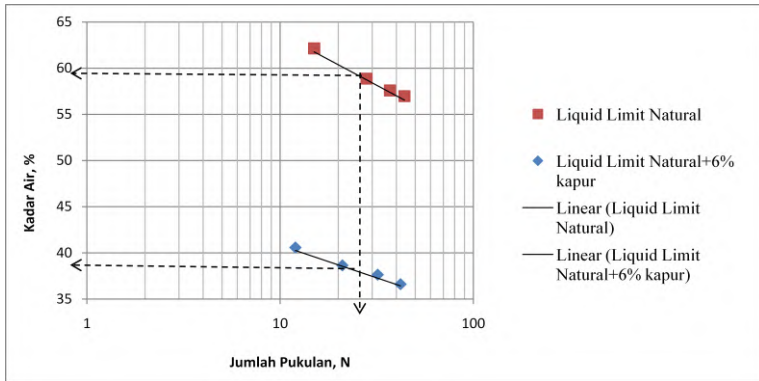
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

##### **4.5.1.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik**

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur.

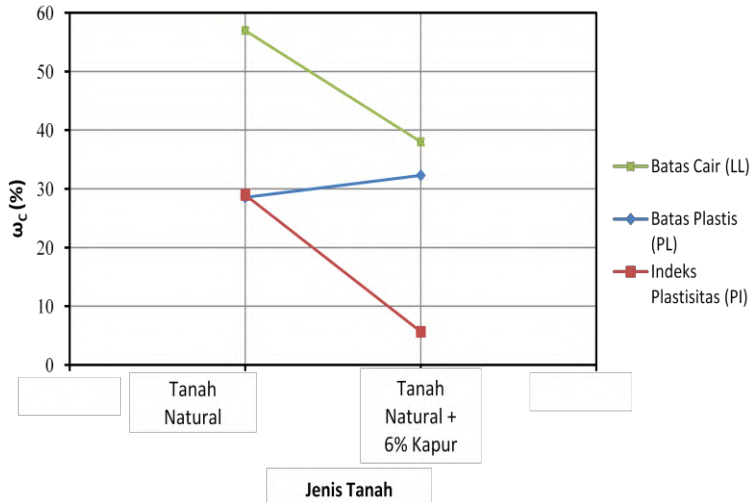
#### **A. Hasil Pengujian *Atterberg Limits***

Pengujian *Atterberg limits* tanah natural dan tanah natural + 6% kapur terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.49.



**Gambar 4.49** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.49 untuk tanah natural kadar air pada ketukan ke 25 adalah 57 % dan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 25.958 %. Sedangkan untuk tanah natural + 6% kapur kadar air pada ketukan ke 25 adalah 38 % dan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 32.317 %. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Sehingga dari hasil pengujian didapat nilai indeks plastisitas tanah natural sebesar 31.042 % dan nilai indeks plastisitas tanah natural + 6% kapur sebesar 5.683 %.

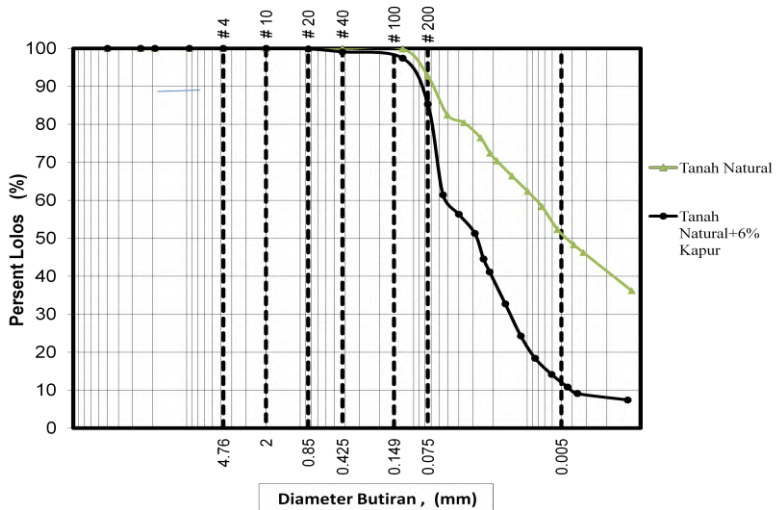


**Gambar 4.50** Hasil pengujian batas batas Atterberg pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.50 nilai batas cair tanah natural + 6% kapur menurun 33.33 %, batas plastis menurun 13.249 %, nilai indeks plastisitas menurun 80.379 % dari tanah natural.

## B. Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur dapat dilihat pada gambar 4.51.



**Gambar 4.51** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butir di atas didapat persentase masing-masing fraksi tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Persentase fraksi tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur

Fraksi Tanah	Jenis Tanah	
	natural	natural + 6% kapur
Kerikil ( <i>Gravel</i> )	0%	0%
Pasir ( <i>Sand</i> )	7.31%	14.668%
Lantau ( <i>Silt</i> )	56.487%	77.908%
Lempung ( <i>Clay</i> )	36.203%	7.424%

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### C. Klasifikasi Tanah

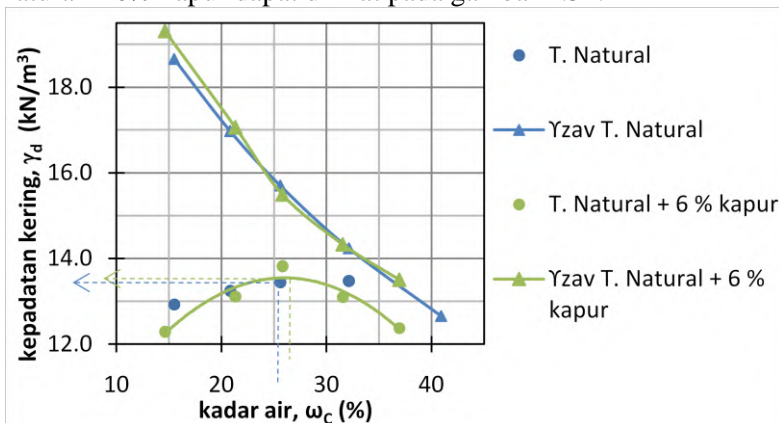
Berdasarkan sifat-sifat fisik diatas, menurut USCS tanah natural termasuk ke dalam kelompok tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-7-6. Setelah adanya penambahan 6% kapur, tanah natural mengalami peningkatan klasifikasi tanah menurut USCS termasuk ke dalam kelompok tanah lanau anorganik dengan plastisitas rendah (ML) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-4.

#### 4.5.1.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika dikenai beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur.

#### A. Hasil Pengujian Proctor Standar

Hasil pengujian Proctor standar dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur dapat dilihat pada gambar 4.52.



**Gambar 4.52** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



Berdasarkan grafik pemadatan tanah natural diatas didapat nilai kepadatan kering maksimum sebesar  $13.45 \text{ kN/m}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 26%. Sedangkan tanah natural + 6% kapur didapat nilai kepadatan kering maksimum sebesar  $13.65 \text{ kN/m}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 27%.

## **B. Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural dan Tanah Natural + 6% kapur**

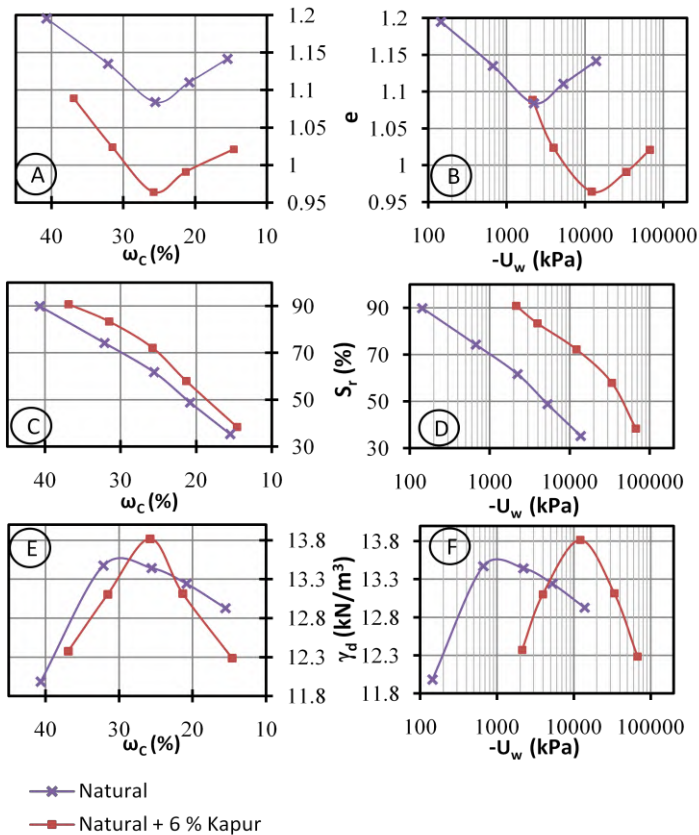
Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur.

### **a) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.53A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Tampak bahwa untuk kadar air yang sama (misal 25 %) tanah natural memiliki angka pori sebesar 1.084 setelah distabilisasi dengan 6% kapur berkurang menjadi 0.964. Perubahan nilai tersebut menunjukkan angka pori natural + 6% kapur cenderung lebih kecil dibandingkan tanah natural, yang diakibatkan oleh berat butiran solid yang meningkat. Hal ini berarti bahwa benda uji yang distabilisasi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan benda uji natural.

### **b) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.53B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Dalam gambar 4.5B ditunjukkan bahwa untuk tegangan air pori negatif yang sama, angka pori tanah natural lebih besar dibanding dengan angka pori tanah natural + 6% kapur. Hal ini disebabkan karena jika angka pori semakin kecil maka kadar air kertas filter whatman akan semakin kecil, semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.



Tanah Natural :  $\gamma_{d \text{ maks}} = 13.45 \text{ kN/m}^3$ ,  
 $\omega_{c \text{ opt}} = 26 \%$

Tanah Natural + 6% kapur :  $\gamma_{d \text{ maks}} = 13.65 \text{ kN/m}^3$ ,  
 $\omega_{c \text{ opt}} = 27 \%$

**Gambar 4.53** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**c) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.53C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Semakin besar kadar air semakin meningkat derajat kejenuhannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa, sebagai contoh untuk kadar air sebesar  $\pm 25\%$ , tanah natural memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 61.722\%$  dan tanah natural + 6% kapur memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 72.254\%$ . Hal ini disebabkan tanah mengembang saat kadar air bertambah sehingga volume air membesar. Dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga nilai derajat kejenuhan pun ikut membesar. Sebaliknya derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil.

**d) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.53D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Semakin kecil tegangan air pori negatif semakin besar derajat kejenuhannya. Untuk derajat kejenuhan sebesar 70%, tanah natural memiliki tegangan air pori negatif sebesar 1198.553 kPa dan tanah natural + 6% kapur memiliki tegangan air pori negatif sebesar 15476.880 kPa. Terlihat bahwa tanah natural yang telah distabilisasi tegangan air pori negatifnya meningkat. Hal ini disebabkan kadar air tanah yang terus bertambah menyebabkan nilai derajat kejenuhan meningkat dan kadar air kertas whatman meningkat sehingga semakin kecil nilai tegangan air pori negatifnya.

**e) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.53E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tanah

natural + 6 % kapur memiliki kepadatan kering maksimum lebih besar yaitu  $13.65 \text{ kN/m}^3$  dari pada tanah natural sebesar  $13.45 \text{ kN/m}^3$ . Hal ini menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan bahan tambah kapur dapat meningkatkan kepadatan tanah.

**f) Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.53F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tanah natural + 6 % kapur memiliki tegangan air pori negatif lebih besar yaitu 12094.587 kPa dari pada tanah natural sebesar 2217.531 kPa. Tampak bahwa besarnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) akan bertambah jika kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) semakin naik. Hal ini disebabkan karena jika tanah yang memiliki kepadatan kering yang tinggi kadar air pada kertas filter Whatman akan semakin mengecil karena air yang terserap lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang memiliki kepadatan yang kecil. Semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

**C. Hasil Pengujian Triaksial**

Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural dan tanah natural + 6% kapur yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* tanah natural dan tanah natural + 6% kapur

Parameter	Jenis Tanah	
	natural	natural + 6% kapur
$\phi$ ( $^\circ$ )	4.3	1.8
c ( $\text{kN/m}^2$ )	55.6	589
$E_1$ ( $\text{kN/m}^2$ )	3970.8	117712
$E_2$ ( $\text{kNm}^2$ )	3810.86	118349.4

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

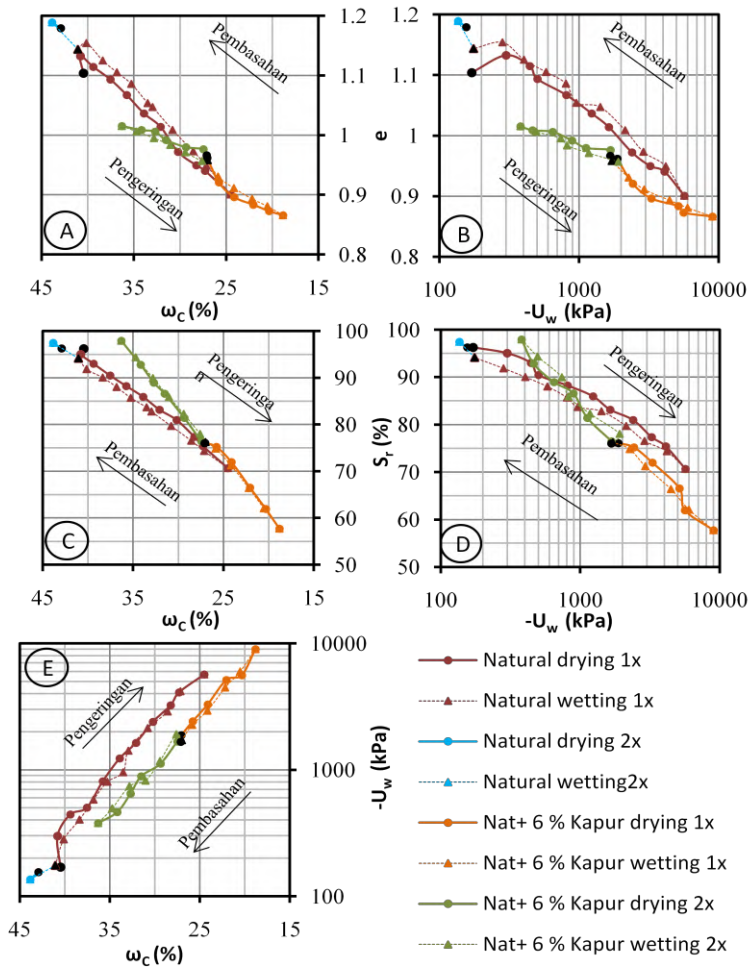
#### 4.5.1.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur dari siklus pengeringan-pembasaan pada siklus pertama dan kedua.

##### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.54A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Pada kurva tersebut menunjukkan nilai angka pori saat kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) pada tanah natural + 6% kapur sebesar 0.958 lebih kecil dibandingkan pada tanah natural yang sebesar 1.144. Hal ini disebabkan pengaruh bahan stabilisasi diatas pada tanah menyebabkan volume pori mengecil dan volume solid meningkat. Dimana angka pori adalah perbandingan antara volume pori dengan volume solid ( $e = V_v/V_s$ ), sehingga angka pori menurun.

Jika dilihat pada kadar air yang sama (contoh  $\pm 34\%$ ) nilai angka pori tanah natural sebesar 1.037 dan tanah natural + 6 % kapur sebesar 1.006. Angka pori pada tanah natural + 6 % kapur lebih kecil dibandingkan tanah natural. Akibat penambahan 6 % kapur nilai angka pori menurun sebesar 2.279% dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena kapur yang bersifat mengikat.



**Gambar 4.54** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### **B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.54B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan juga bahwa tegangan air pori negatif pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x) pada tanah natural + 6% kapur sebesar 1713.300 kPa lebih besar dibandingkan pada tanah natural sebesar 175.131 kPa. Akibat penambahan 6 % kapur nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 55.893% dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat.

### **C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.54C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa pada kadar air yang sama (contoh  $\pm 36\%$ ) nilai derajat kejenuhan pada tanah natural sebesar 88.233 % dan pada tanah natural + 6 % kapur sebesar 97.924 %. Nilai derajat kejenuhan pada tanah natural + 6% kapur lebih besar dibandingkan dengan tanah natural. Akibat penambahan 6 % kapur nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 8.336% dari tanah natural. Hal ini disebabkan ruang pori tanah yang distabilisasi lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural. Sehingga pada volume air yang sama dan volume pori yang lebih kecil maka derajat kejenuhan akan lebih besar.

Akan tetapi jika dilihat pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x) nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6 % kapur sebesar 76.280 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 %. Hal ini disebabkan kadar air titik inisial *wetting* tanah natural lebih besar dibandingkan dengan tanah yang

distabilisasi. Semakin besar kadar air berarti berat air dan volume air besar sehingga menyebabkan nilai derajat kejenuhan besar.

#### **D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.54D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk nilai derajat kejenuhan yang sama, nilai tegangan air pori negatif tanah natural lebih besar dibanding nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur. Sebagai contoh untuk nilai derajat kejenuhan sebesar 80 %, tanah natural memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 2620.772 kPa dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 1570.705 kPa.

Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*), nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6% kapur sebesar 76.280 % lebih kecil dari tanah natural sebesar 94.144 %, sedangkan untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur sebesar 1713.300 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Akibat penambahan 6 % kapur nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 8.336% dan nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 55.893% dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat.

#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.54E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk nilai kadar air yang sama, nilai tegangan air pori negatif tanah natural lebih besar dibanding nilai tegangan air pori

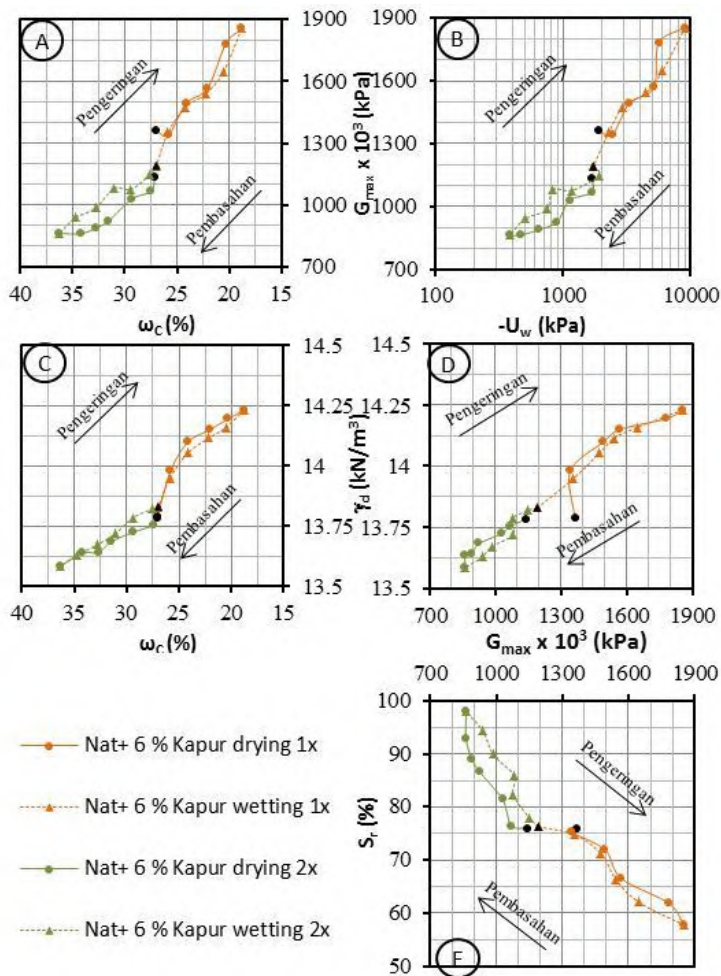


negatif tanah natural + 6% kapur. Sebagai contoh untuk nilai kadar air sebesar 25 %, tanah natural memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 5408.659 kPa dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 2873.359 kPa.

Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur sebesar 1713.300 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Akibat penambahan 6 % kapur nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 55.893% dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat.

#### **F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.55A adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk nilai kadar air yang sama, nilai modulus geser maksimum tanah + 6% kapur lebih besar dibanding nilai modulus geser maksimum tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai kadar air sebesar 25 %, tanah natural memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 1159.624 kPa dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 1414.282 kPa. Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai modulus geser maksimum tanah + 6% kapur sebesar  $1190.758 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa. Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dari tanah natural.



**Gambar 4.55** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### **G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.55B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk nilai tegangan air pori negatif sebesar 2000 kPa, tanah natural memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 886.862 kPa dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 1357.877 kPa.

Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai modulus geser maksimum tanah + 6% kapur sebesar 1190.758 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 305.149 kPa, begitu juga dengan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 6% kapur sebesar 1713.300 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dan nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 55.893% dari tanah natural.

### **H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.55C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Pada kadar air yang sama  $\pm 25\%$  nilai kepadatan kering tanah natural  $13.655 \text{ kN/m}^3$  dan tanah natural + 6% kapur  $13.981 \text{ kN/m}^3$ . Terlihat bahwa nilai kepadatan kering tanah + 6% kapur lebih besar dibandingkan dengan tanah natural.

Pada kurva tersebut menunjukkan nilai kepadatan kering saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 6% kapur sebesar  $13.66 \text{ kN/m}^3$  lebih besar dibandingkan tanah natural  $12.23 \text{ kN/m}^3$ . Akibat penambahan 6 % kapur nilai kepadatan kering meningkat sebesar 4.887% dari tanah natural. Hal ini disebabkan pengaruh kapur pada tanah menyebabkan volume pori mengecil dan volume solid meningkat.

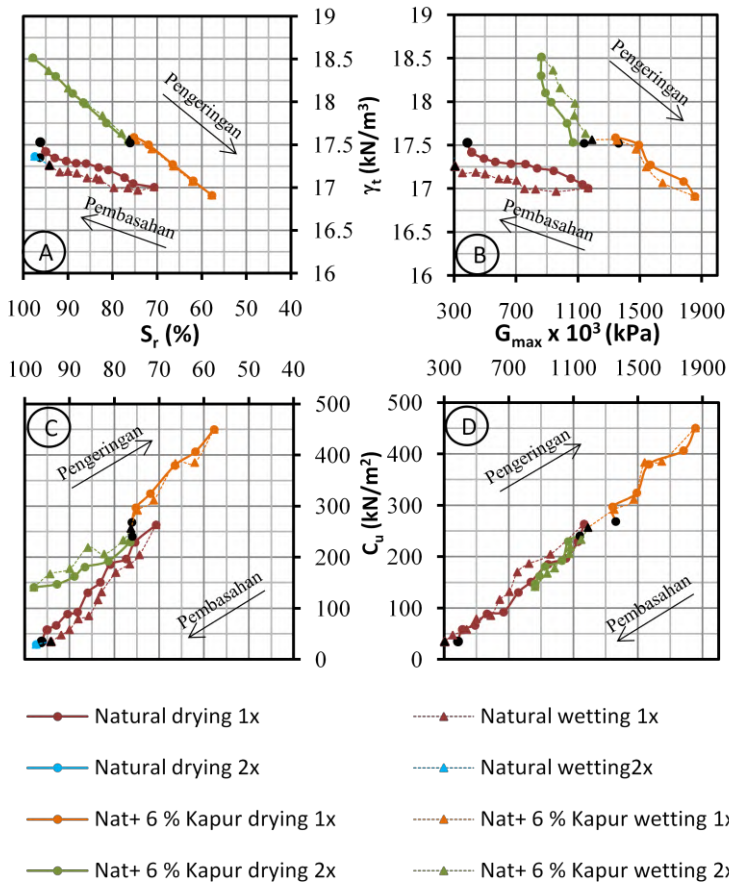
### **I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.55D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk kepadatan kering yang sama  $\pm 13.655 \text{ kN/m}^3$  nilai modulus geser maksimum tanah natural  $1166.207 \times 10^3 \text{ kPa}$  dan tanah natural + 6% kapur  $1362.417 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Terlihat bahwa tanah + 6% kapur memiliki modulus geser maksimum yang lebih besar dari pada tanah natural.

Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai kepadatan kering saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 6% kapur sebesar  $13.66 \text{ kN/m}^3$  lebih besar dibandingkan tanah natural  $12.23 \text{ kN/m}^3$  dan nilai modulus geser maksimum tanah + 6% kapur sebesar  $1190.758 \times 10^3 \text{ kPa}$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dan nilai kepadatan kering meningkat sebesar 4.887% dari tanah natural.

### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.55E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk derajat kejenuhan yang sama  $\pm 70 \%$  nilai modulus geser maksimum tanah natural  $1166.207 \times 10^3 \text{ kPa}$  dan tanah natural + 6% kapur  $1492.834 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Terlihat bahwa nilai modulus geser saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 6% kapur sebesar  $1190.758 \times 10^3 \text{ kPa}$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3 \text{ kPa}$  dan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6 % kapur sebesar 76.280 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 %. Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dan nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 8.336% dari tanah natural.



**Gambar 4.56** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### **K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.56A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa nilai derajat kejenuhan saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*) tanah + 6% kapur sebesar 76.280 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 % dan nilai berat volume tanah natural + 6 % kapur sebesar 17.56 kN/m<sup>2</sup> lebih besar dibandingkan dengan tanah natural 17.26 kN/m<sup>2</sup>. Akibat penambahan 6 % kapur nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 8.336% dan nilai berat volume tanah meningkat sebesar 5.385% dari tanah natural.

### **L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.56B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai modulus geser saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*) tanah + 6% kapur sebesar 1190.758x10<sup>3</sup> kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 305.149x10<sup>3</sup> kPa. Begitu juga dengan nilai berat volume tanah natural + 6 % kapur sebesar 17.56 kN/m<sup>2</sup> lebih besar dibandingkan dengan tanah natural 17.26 kN/m<sup>2</sup>. Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dan nilai berat volume tanah meningkat sebesar 5.385% dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena tanah yang distabilisasi lebih rapat dan padat dibandingkan dengan tanah natural.

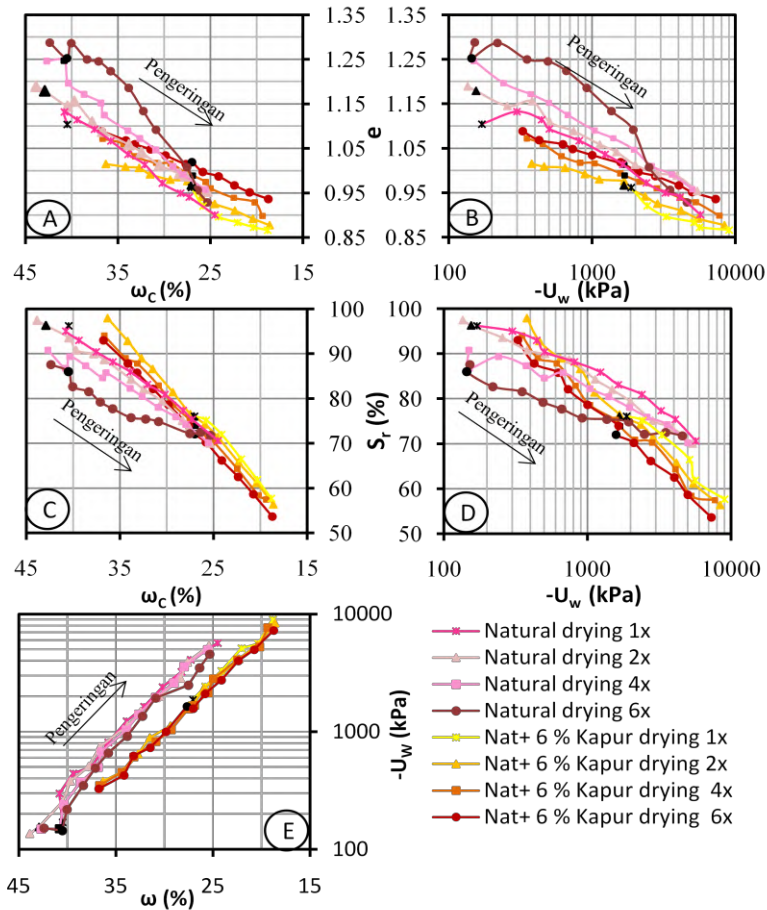
### **M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )**

Gambar 4.56C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur.

Untuk nilai derajat kejenuhan yang sama, nilai kohesi tanah natural + 6% kapur lebih besar dibanding nilai kohesi tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai derajat kejenuhan sebesar 80 %, tanah natural memiliki nilai kohesi sebesar  $188.543 \text{ kN/m}^2$  dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai kohesi sebesar  $220.377 \text{ kN/m}^2$ . Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai kohesi tanah natural + 6% kapur sebesar  $256.516 \text{ kN/m}^2$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $34.822 \text{ kN/m}^2$ , begitu juga dengan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 6% kapur 76.280 % lebih kecil dari tanah natural 94.144% . Akibat penambahan 6 % kapur nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 8.336% dan nilai kohesi meningkat sebesar 30.879% dari tanah natural.

#### **N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.56D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Untuk nilai modulus geser maksimum yang sama, nilai kohesi tanah natural + 6% kapur lebih kecil dibanding nilai kohesi tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai modulus geser maksimum sebesar 1100 kPa, tanah natural memiliki nilai kohesi sebesar  $216.922 \text{ kN/m}^2$  dan tanah natural + 6% kapur memiliki nilai kohesi sebesar  $214.572 \text{ kN/m}^2$ . Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai modulus geser maksimum tanah + 6% kapur sebesar  $1190.758 \times 10^3 \text{ kPa}$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3 \text{ kPa}$ , begitu juga dengan nilai kohesi tanah natural + 6% kapur sebesar  $256.516 \text{ kN/m}^2$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $34.822 \text{ kN/m}^2$ . Akibat penambahan 6 % kapur nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 29.340% dan nilai kohesi meningkat sebesar 30.879% dari tanah natural.



**Gambar 4.57** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural+ 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



#### **4.5.1.4 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang pada Siklus 1x, 2x, 4x dan 6x**

Seiring penambahan proses pengeringan (pengeringan berulang) yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.57, 4.58, dan 4.59.

##### **A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.57A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Terlihat pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial), akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai angka pori tanah natural + 6% kapur cenderung lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Nilai angka pori tanah natural berturut-turut adalah 1.104, 1.179, 1.247 dan 1.253, tanah natural + 6% kapur adalah 0.962, 0.966, 0.989 dan 1.019. Akibat proses pengeringan berulang nilai angka pori pada tanah natural meningkat 10.669 % dan tanah natural + 6% kapur meningkat 8.494 %. Hal ini membuktikan akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan angka pori meningkat dari kondisi semula. Peningkatan angka pori disebabkan oleh molekul dalam tanahnya semakin renggang. Penambahan bahan stabilisasi diatas mengakibatkan berat butiran padat bertambah sehingga pengaruh stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah diatas dapat memperbaiki sifat fisik (angka pori) tanah natural.

##### **B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar, 4.57B adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural

maupun tanah + 6% kapur, nilai angka pori semakin membesar dan nilai tegangan air pori negatif menurun. Terlihat pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial), akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai angka pori tanah natural + 6% kapur cenderung lebih kecil dibandingkan pada tanah natural sehingga kadar air kertas filter whatman menurun sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Nilai tegangan air pori negatif tanah natural berturut-turut adalah 170.221, 154.978, 150.229 dan 144.038 kPa, tanah natural + 6% kapur adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Akibat proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif pada tanah natural menurun 18.465 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%. Hal ini disebabkan karena angka pori yang besar menyebabkan kadar air kertas whatman membesar sehingga nilai tegangan air pori negatif akan kecil.

### **C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.57C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan seiring banyaknya jumlah proses pengeringan yang diterapkan pada tanah natural maupun tanah natural + 6% kapur, nilai angka derajat kejenuhan mengecil karena volume pori yang meningkat. Akibat proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.880 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%.

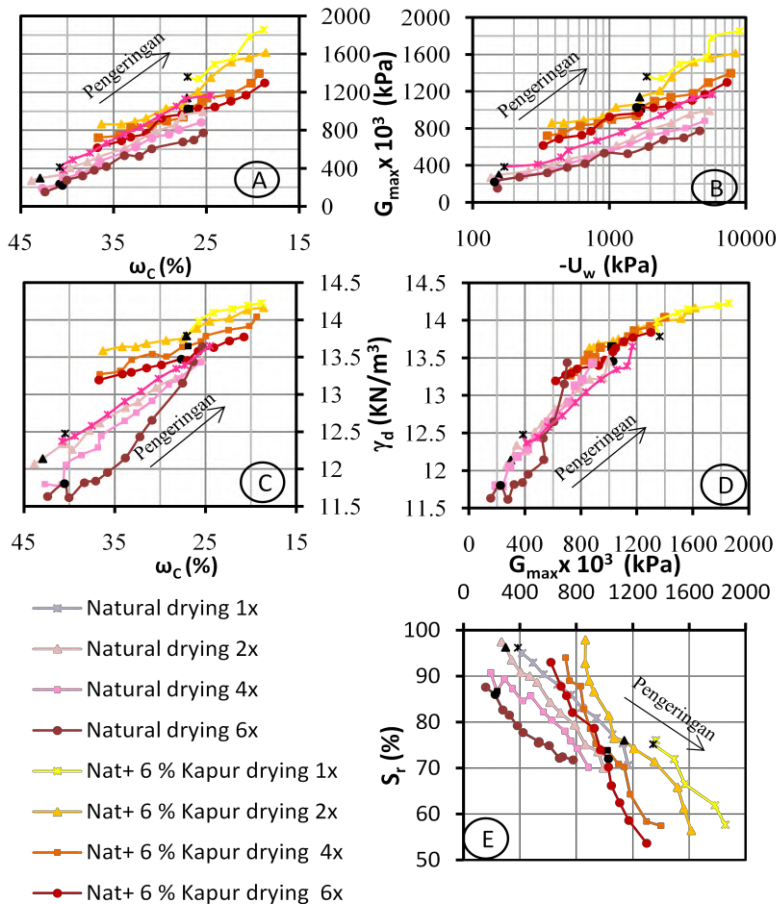
### **D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.57D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa semakin banyak proses

pengeringan, maka tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai tegangan air pori negatif tanah natural setelah distabilisasi menurun, nilai tegangan air pori negatif tanah natural berturut-turut adalah 170.221, 154.978, 150.229 dan 144.038 kPa, tanah natural + 6% kapur adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Begitu juga nilai derajat kejenuhannya menurun, nilai derajat kejenuhan tanah natural berturut-turut adalah 96.259, 96.308, 86.778 dan 86.040 %, tanah natural + 6% kapur adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Akibat proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif pada tanah natural menurun 18.465 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%. Begitu juga nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.880 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%.

#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.57E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (suction) dengan kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa semakin banyak proses pengeringan, maka tegangan air pori negatif semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai tegangan air pori negatif tanah natural setelah distabilisasi meningkat, nilai tegangan air pori negatif tanah natural berturut-turut adalah 170.221, 154.978, 150.229 dan 144.038 kPa, tanah natural + 6% kapur adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Akibat proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif pada tanah natural menurun 18.465 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%.



**Gambar 4.58** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural+ 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### **F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.58A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Proses yang berulang menyebabkan rongga pada tanah menjadi besar sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menghantarkan sinyal semakin banyak atau lebih lambat sehingga menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun. Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%. Hal membuktikan akibat berulangnya proses pengeringan menyebabkan nilai modulus geser maksimum menurun yang diakibatkan oleh cepat rambat sinyal yang menurun.

#### **G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.58B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Terlihat bahwa semakin banyak proses yang dilewati, maka tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai tegangan air pori negatif tanah natural setelah distabilisasi meningkat, nilai tegangan air pori negatif tanah natural berturut-turut adalah 170.221, 154.978, 150.229 dan 144.038 kPa, tanah natural + 6% kapur adalah 1875.359, 1667.032, 1684.241 dan 1575.089 kPa. Begitu juga dengan nilai modulus geser maksimum menurun, nilai modulus geser maksimum tanah natural berturut-turut adalah  $384.898 \times 10^3$ ,  $296.832 \times 10^3$ ,  $236.569 \times 10^3$  dan  $222.801 \times 10^3$  kPa, tanah natural + 6% kapur adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Akibat proses pengeringan

berulang nilai tegangan air pori negatif pada tanah natural menurun 18.465 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 16.273%. Begitu juga nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%.

#### **H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.58C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Kurva tersebut menunjukkan tanah natural maupun tanah natural + 6% kapur pada saat mengalami pengeringan kepadatan keringnya akan meningkat sehingga masa tanah semakin padat. Pada kondisi tanah inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai kepadatan kering tanah natural berturut-turut adalah 12.480, 12.139, 11.796 dan 11.805 kN/m<sup>3</sup> dan tanah natural + 6% kapur adalah 13.789, 13.704, 13.637 dan 13.548 kN/m<sup>3</sup>. Terlihat bahwa akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai kepadatan kering akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Akibat proses pengeringan berulang nilai kepadatan kering pada tanah natural menurun 4.052 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 2.877%.

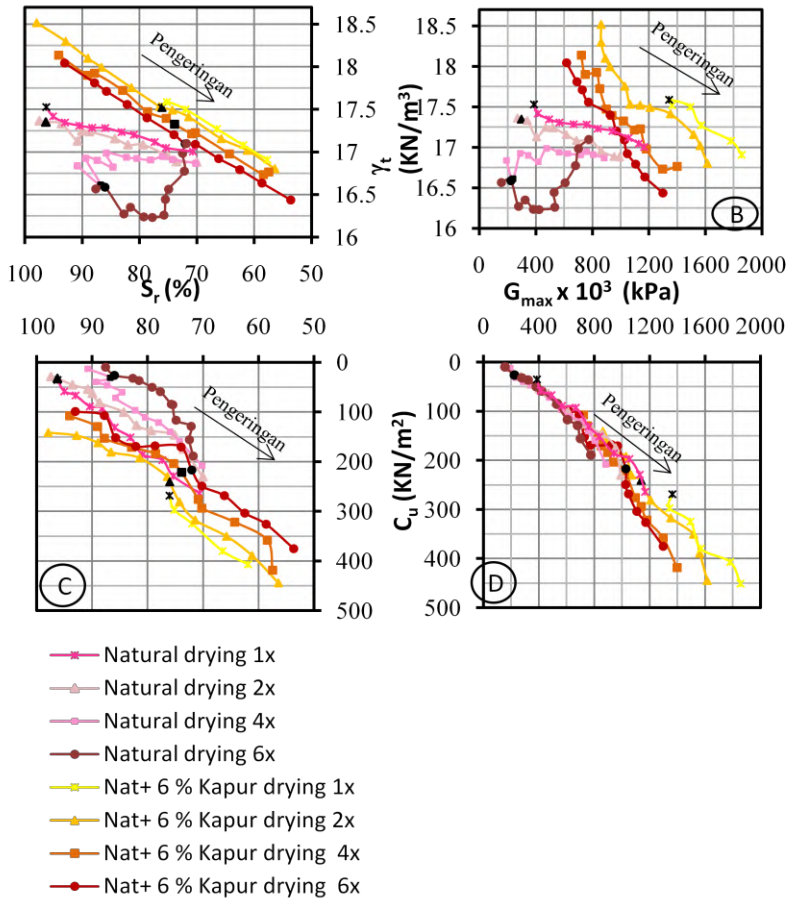
#### **I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.58D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai modulus geser maksimum dan nilai kepadatan kering akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai modulus geser maksimum menurun, nilai modulus geser maksimum tanah natural berturut-turut adalah  $384.898 \times 10^3$ ,

$296.832 \times 10^3$ ,  $236.569 \times 10^3$  dan  $222.801 \times 10^3$  kPa, tanah natural + 6% kapur adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Begitu juga dengan nilai kepadatan kering menurun, nilai kepadatan kering tanah natural berturut-turut adalah 12.48, 12.14, 11.80 dan 11.80  $\text{kN/m}^3$ , tanah natural + 6% kapur adalah 13.79, 13.78, 13.65 dan 13.46  $\text{kN/m}^3$ . Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%. Sedangkan nilai kepadatan kering pada tanah natural menurun 4.052 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 2.877%.

#### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.58E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Akibat penerapan proses pengeringan berulang, nilai modulus geser maksimum dan nilai derajat kejenuhan akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah proses pengeringan. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai modulus geser maksimum menurun, nilai modulus geser maksimum tanah natural berturut-turut adalah  $384.898 \times 10^3$ ,  $296.832 \times 10^3$ ,  $236.569 \times 10^3$  dan  $222.801 \times 10^3$  kPa, tanah natural + 6% kapur adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Begitu juga nilai derajat kejenuhannya menurun, nilai derajat kejenuhan tanah natural berturut-turut adalah 96.259, 96.308, 86.778 dan 86.040 %, tanah natural + 6% kapur adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%. Sedangkan nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.880 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%.



**Gambar 4.59** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural+ 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



### **K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.59A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Semakin banyak jumlah proses pengeringan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah semakin turun. Pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, akibat pengeringan 1x, 2x, 4x dan 6x nilai derajat kejenuhannya menurun, nilai derajat kejenuhan tanah natural berturut-turut adalah 96.259, 96.308, 86.778 dan 86.040 %, tanah natural + 6% kapur adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Begitu juga nilai berat volume tanahnya menurun, nilai berat volume tanah natural berturut-turut adalah 17.53, 17.35, 16.61 dan 16.59 kN/m<sup>3</sup>, tanah natural + 6% kapur adalah 17.52, 17.52, 17.33 dan 17.10 kN/m<sup>3</sup>. Nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.880 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%. Sedangkan nilai berat volume tanah pada tanah natural menurun 4.182 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 2.785%.

### **L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.59B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut menunjukkan jika semakin banyak jumlah proses pengeringan yang diterapkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah semakin turun. Penurunan berat volume tanah mengakibatkan kerapatan dan kepadatan tanah menurun sehingga kecepatan rambat sinyal melambat sehingga nilai modulus geser maksimum menurun. Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%. Sedangkan nilai berat volume tanah pada tanah natural menurun 4.182 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 2.785%.

### **M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.59C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_U$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur. Semakin banyak proses pengeringan, maka derajat kejenuhan dan kohesi semakin turun. Pada kondisi yang sama, nilai derajat kejenuhannya menurun, nilai derajat kejenuhan tanah natural berturut-turut adalah 96.259, 96.308, 86.778 dan 86.040 %, tanah natural + 6% kapur adalah 76.103, 76.042, 73.909 dan 72.060 %. Begitu juga dengan nilai kohesi menurun, nilai kohesi tanah natural berturut-turut adalah 35.160, 32.578, 31.071 dan 25.811 kN/m<sup>2</sup>, tanah natural + 6% kapur adalah 268.500, 240.756, 221.266 dan 216.765 kN/m<sup>2</sup>. Nilai derajat kejenuhan pada tanah natural menurun 8.880 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 6.381%. Sedangkan nilai kohesi pada tanah natural menurun 37.216 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 18.235%.

### **N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.58D adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 6% kapur akibat proses pengeringan berulang. Semakin banyak proses pengeringan, maka modulus geser maksimum dan kohesi semakin turun. Pada kondisi yang sama, nilai modulus geser maksimum tanah natural berturut-turut adalah  $384.898 \times 10^3$ ,  $296.832 \times 10^3$ ,  $236.569 \times 10^3$  dan  $222.801 \times 10^3$  kPa, tanah natural + 6% kapur adalah  $1362.417 \times 10^3$ ,  $1139.084 \times 10^3$ ,  $1019.806 \times 10^3$  dan  $1026.542 \times 10^3$  kPa. Begitu juga nilai kohesi menurun, nilai kohesi tanah natural berturut-turut adalah 35.160, 32.578, 31.071 dan 25.811 kN/m<sup>2</sup>, tanah natural + 6% kapur adalah 268.500, 240.756, 221.266 dan 216.765 kN/m<sup>2</sup>. Nilai modulus geser maksimum pada tanah natural menurun 35.318 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 28.656%. Sedangkan nilai kohesi pada tanah natural menurun 37.216 % dan tanah natural + 6% kapur menurun 18.235%.

#### 4.5.2 Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural + 10% *Fly Ash*

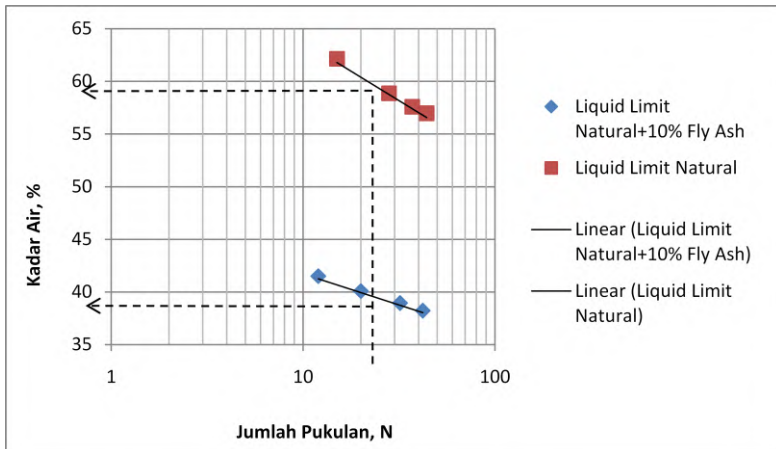
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

##### 4.5.2.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*.

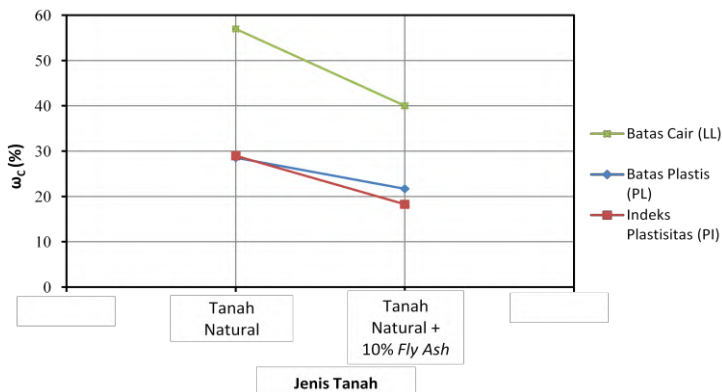
##### A. Hasil Pengujian *Atterberg Limits*

Pengujian *Atterberg limits* tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.60.



**Gambar 4.60** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.60 untuk tanah natural kadar air pada ketukan ke 25 adalah 57% dan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 25.958%. Sedangkan untuk tanah natural + 10% *fly ash* kadar air pada ketukan ke 25 adalah 40% dan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis adalah 21.706%. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Sehingga dari hasil pengujian didapat nilai indeks plastisitas tanah natural sebesar 31.042 % dan nilai indeks plastisitas tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 18.294%.

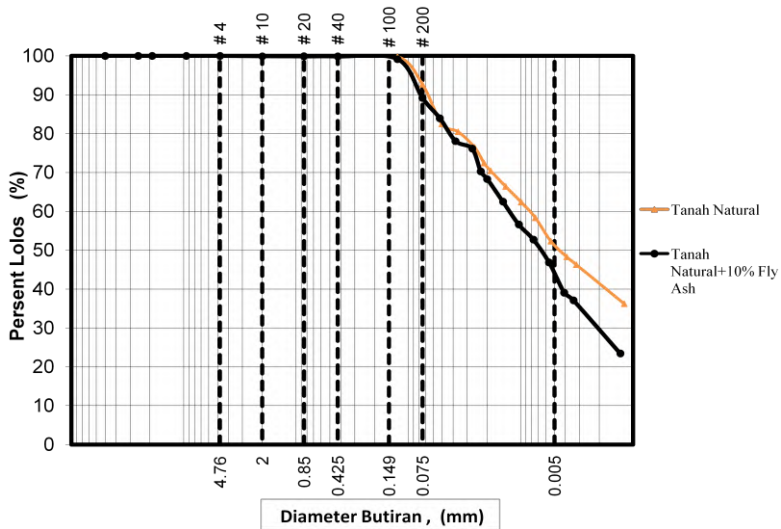


**Gambar 4.61** Hasil pengujian batas batas Atterberg pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.61 nilai batas cair tanah natural + 10% *fly ash* menurun 29.825 %, batas plastis menurun 23.935 %, nilai indeks plastisitas menurun 36.839 % dari tanah natural.

## B. Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* dapat dilihat pada gambar 4.62.



**Gambar 4.62** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butiran diatas didapat persentase masing-masing fraksi tanah pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* yang dapat dilihat pada table 4.6.

**Tabel 4.6** Persentase fraksi tanah pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*

Fraksi Tanah	Jenis Tanah	
	natural	natural + 10% <i>fly ash</i>
Kerikil ( <i>Gravel</i> )	0%	0%
Pasir ( <i>Sand</i> )	7.31%	10.830%
Lanau ( <i>Silt</i> )	56.487%	65.744%
Lempung ( <i>Clay</i> )	36.203%	23.426%

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### C. Klasifikasi Tanah

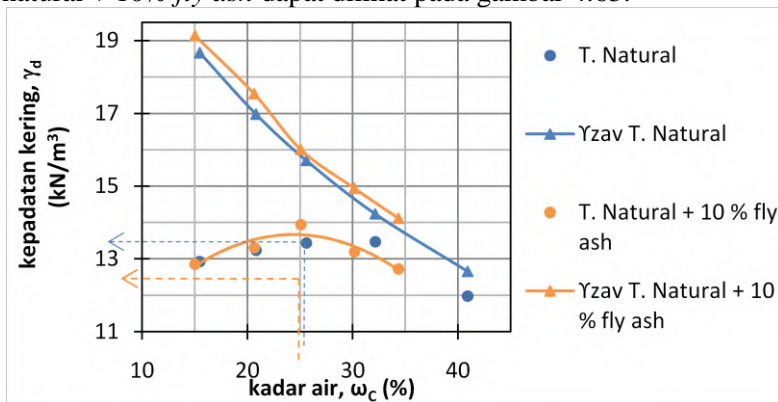
Berdasarkan sifat-sifat fisik diatas, menurut USCS tanah natural termasuk ke dalam kelompok tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-7-6. Setelah adanya penambahan 10% *fly ash*, tanah natural mengalami peningkatan klasifikasi tanah menurut USCS termasuk ke dalam kelompok tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang (CL) sedangkan menurut AASHTO termasuk ke kelompok tanah A-6.

#### 4.5.2.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika dikenai beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*.

#### A. Hasil Pengujian Proctor Standar

Hasil pengujian Proctor standar dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* dapat dilihat pada gambar 4.63.

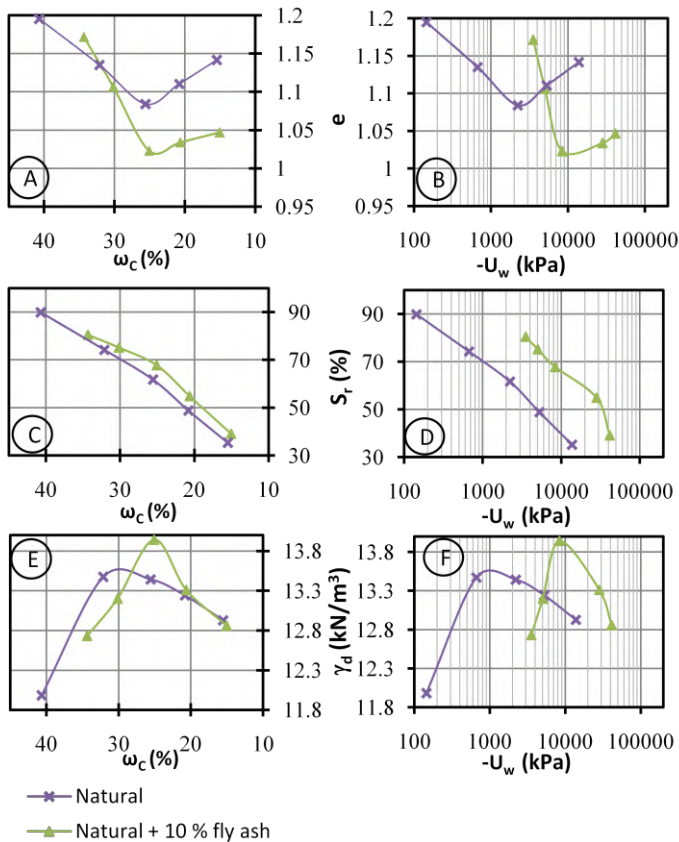


**Gambar 4.63** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan grafik pemadatan tanah natural diatas didapat nilai kepadatan kering maksimum sebesar  $13.45 \text{ kN/m}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 26%. Sedangkan tanah natural + 10% *fly ash* didapat nilai kepadatan kering maksimum sebesar  $13.70 \text{ kN/m}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 25%.

**D. Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural + 10% Fly Ash**

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural + 10% *fly ash*.



Tanah Natural :  $\gamma_{d \text{ maks}} = 13.45 \text{ kN/m}^3$ ,  
 $\omega_{c \text{ opt}} = 26 \%$

Tanah Natural + 10% fly ash :  $\gamma_{d \text{ maks}} = 13.70 \text{ kN/m}^3$ ,  
 $\omega_{c \text{ opt}} = 25 \%$

**Gambar 4.64** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural + 10% fly ash  
 (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



**a) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.64A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Tampak bahwa untuk kadar air yang sama (misal 25 %) tanah natural memiliki angka pori sebesar 1.084 setelah distabilisasi dengan 10% *fly ash* berkurang menjadi 1.023. Perubahan nilai tersebut menunjukkan angka pori natural + 10% *fly ash* cenderung lebih kecil dibandingkan tanah natural, yang diakibatkan oleh berat butiran solid yang meningkat. Hal ini berarti bahwa benda uji yang distabilisasi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan benda uji natural.

**b) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.64B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Dalam gambar 4.5B ditunjukkan bahwa untuk tegangan air pori negatif yang sama, angka pori tanah natural lebih besar dibanding dengan angka pori tanah natural + 10% *fly ash*. Hal ini disebabkan karena jika angka pori semakin kecil maka kadar air kertas filter whatman akan semakin kecil, semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

**c) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.64C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kadar air dengan derajat kejenuhan berbanding lurus, yaitu semakin besar kadar air semakin meningkat derajat kejenuhannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa, sebagai contoh untuk kadar air sebesar  $\pm 25\%$ , tanah natural memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 61.722\%$  dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 67.815\%$ . Hal ini disebabkan tanah mengembang saat

kadar air bertambah sehingga volume air membesar. Dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga nilai derajat kejenuhan pun ikut membesar. Sebaliknya derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil.

**d) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.64D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin kecil tegangan air pori negatif semakin besar derajat kejenuhannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa, sebagai contoh untuk derajat kejenuhan sebesar 70%, tanah natural memiliki tegangan air pori negatif sebesar 1198.553 kPa dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki tegangan air pori negatif sebesar 7400.714 kPa. Dari contoh tersebut menunjukkan bahwa tanah natural yang telah distabilisasi tegangan air pori negatifnya meningkat. Hal ini disebabkan kadar air tanah yang terus bertambah menyebabkan nilai derajat kejenuhan meningkat dan kadar air kertas whatman meningkat sehingga semakin kecil nilai tegangan air pori negatifnya.

**e) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.64E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tanah natural + 10% *fly ash* memiliki kepadatan kering maksimum lebih besar yaitu 13.70 kN/m<sup>3</sup> dari pada tanah natural sebesar 13.45 kN/m<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan bahan tambah kapur dapat meningkatkan kepadatan tanah. Pada kondisi tersebut rongga pada tanah paling kecil sehingga kepadatan tanah paling maksimum.

**f) Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.64F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tanah natural + 10% *fly ash* memiliki tegangan air pori negatif lebih besar yaitu 8400.382 kPa dari pada tanah natural sebesar 2217.531 kPa. Tampak bahwa besarnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) akan bertambah jika kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) semakin naik. Hal ini disebabkan karena jika tanah yang memiliki kepadatan kering yang tinggi kadar air pada kertas filter Whatman akan semakin mengecil karena air yang terserap lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang memiliki kepadatan yang kecil. Semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

**E. Hasil Pengujian Triaksial**

Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* yang dapat dilihat pada tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*

Parameter	Jenis Tanah	
	natural	natural + 10% <i>fly ash</i>
$\phi$ ( $^{\circ}$ )	4.3	2.7
c (kN/m <sup>2</sup> )	55.6	123
E <sub>1</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	3970.8	12875.7
E <sub>2</sub> (kNm <sup>2</sup> )	3810.86	13175.0

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

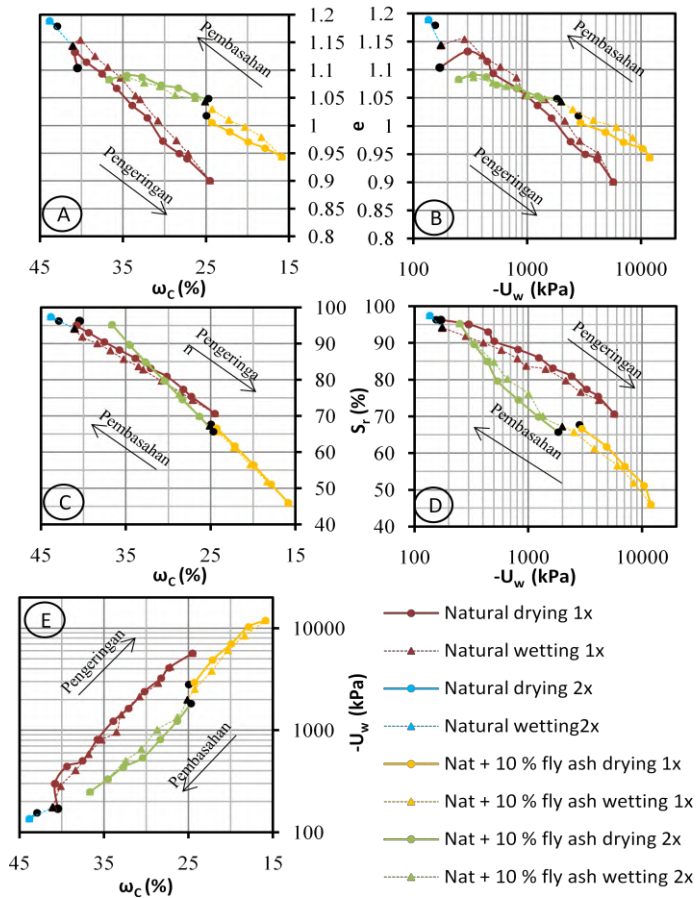
#### 4.5.2.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* dari siklus pengeringan-pembasahan pada siklus pertama dan kedua.

##### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.65A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Pada kurva tersebut menunjukkan nilai angka pori saat kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) pada tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 1.043 lebih kecil dibandingkan pada tanah natural yang sebesar 1.144. Hal ini disebabkan pengaruh bahan stabilisasi diatas pada tanah menyebabkan volume pori mengecil dan volume solid meningkat. Dimana angka pori adalah perbandingan antara volume pori dengan volume solid ( $e = V_v/V_s$ ), sehingga angka pori menurun.

Jika dilihat pada kadar air yang sama (contoh  $\pm 34\%$ ) nilai angka pori tanah natural sebesar 1.037 dan tanah natural + 10% *fly ash* kapur sebesar 1.086. Angka pori pada tanah natural + 10% *fly ash* lebih kecil dibandingkan tanah natural. Hal ini disebabkan karena kapur yang bersifat mengikat. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai angka pori meningkat sebesar 6.251 % dari tanah natural.



**Gambar 4.65** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### **B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.65B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* kapur. Kurva tersebut menunjukkan juga bahwa tegangan air pori negatif pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x) pada tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 1987.715 kPa lebih besar dibandingkan pada tanah natural sebesar 175.131 kPa. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 67.077 % dari tanah natural sedangkan angka pori meningkat sebesar 6.251 % dari tanah natural.

### **C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.65C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa pada kadar air yang sama (contoh  $\pm 36\%$ ) nilai derajat kejenuhan pada tanah natural sebesar 88.233 % dan pada tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 95.293 %. Nilai derajat kejenuhan pada tanah natural + 10% *fly ash* lebih besar dibandingkan dengan tanah natural. Hal ini disebabkan ruang pori tanah yang distabilisasi lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural. Sehingga pada volume air yang sama dan volume pori yang lebih kecil maka derajat kejenuhan akan lebih besar.

Akan tetapi jika dilihat pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x) nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 67.218 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 %. Hal ini disebabkan kadar air titik inisial *wetting* tanah natural lebih besar dibandingkan dengan tanah yang distabilisasi. Semakin besar kadar air berarti berat air dan volume

air besar sehingga menyebabkan nilai derajat kejenuhan besar. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural.

#### **D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.65D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk nilai derajat kejenuhan yang sama, nilai tegangan air pori negatif tanah natural lebih besar dibanding nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash*. Sebagai contoh untuk nilai derajat kejenuhan sebesar 80 %, tanah natural memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 2620.772 kPa dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 669.445 kPa.

Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 67.218 % lebih kecil dari tanah natural sebesar 94.144 %, sedangkan untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 1987.715 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 67.077 % dari tanah natural sedangkan nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural.

#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

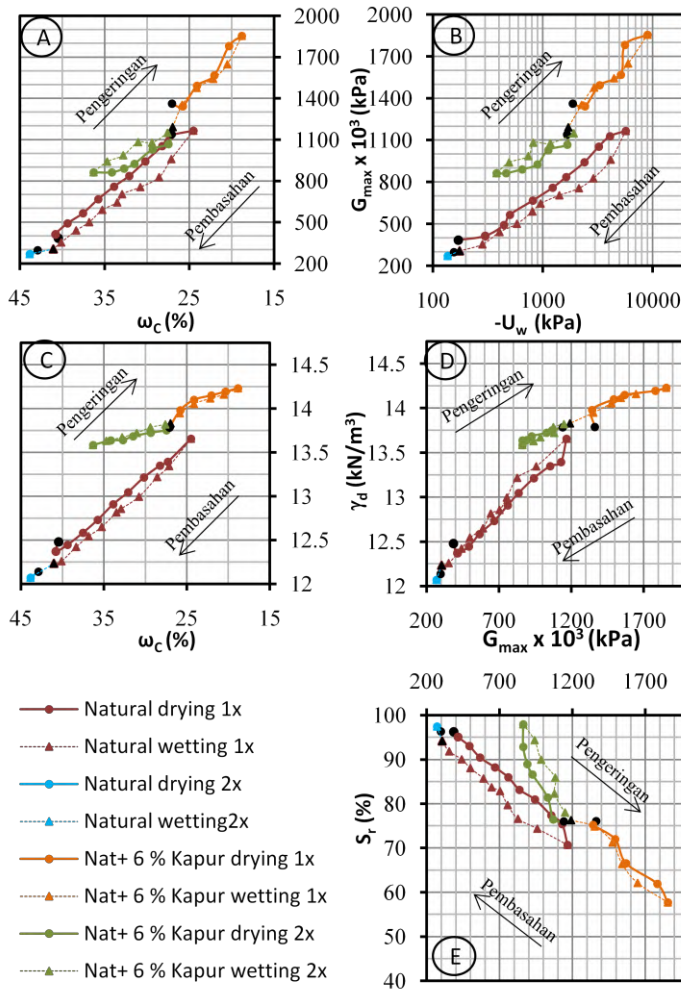
Gambar 4.65E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural dan tanah natural +

10% *fly ash*. Untuk nilai kadar air yang sama, nilai tegangan air pori negatif tanah natural lebih besar dibanding nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash*. Sebagai contoh untuk nilai kadar air sebesar 25 %, tanah natural memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 5408.659 kPa dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai tegangan air pori negatif sebesar 2060.365 kPa. Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*), nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 1987.715 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 67.077 % dari tanah natural.

#### **F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )**

Gambar 4.66A adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk nilai kadar air yang sama, nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* lebih besar dibanding nilai modulus geser maksimum tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai kadar air sebesar 25 %, tanah natural memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 1159.624 kPa dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar 1186.165 kPa. Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*), nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural.





**Gambar 4.66** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.66B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk nilai tegangan air pori negatif yang sama, nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* lebih besar dibanding nilai modulus geser maksimum tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai tegangan air pori negatif sebesar 2000 kPa, tanah natural memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar  $886.862 \times 10^3$  kPa dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai modulus geser maksimum sebesar  $1179.344 \times 10^3$  kPa.

Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa, begitu juga dengan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 1987.715 kPa lebih besar dari tanah natural sebesar 175.131 kPa. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan tanah natural. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai tegangan air pori negatif menurun sebesar 67.077 % dari tanah natural sedangkan nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural.

### H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.66C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Pada kadar air yang sama  $\pm 25\%$  nilai kepadatan kering tanah natural  $13.655 \text{ kN/m}^3$  dan tanah natural + 10% *fly ash*  $13.682 \text{ kN/m}^3$ . Terlihat bahwa nilai kepadatan kering tanah + 6% kapur lebih besar dibandingkan dengan tanah natural. Pada kurva tersebut menunjukkan nilai kepadatan kering saat kondisi yang sama misalnya pada titik

inisial (*wetting* 1x) tanah + 10% *fly ash* sebesar  $13.75 \text{ kN/m}^3$  lebih besar dibandingkan tanah natural  $12.23 \text{ kN/m}^3$ . Hal ini disebabkan pengaruh bahan stabilisasi diatas pada tanah menyebabkan volume pori mengecil dan volume solid meningkat. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai kepadatan kering meningkat sebesar 3.694 % dari tanah natural.

#### **I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.66D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk kepadatan kering yang sama  $\pm 13.655 \text{ kN/m}^3$  nilai modulus geser maksimum tanah natural  $1166.207 \times 10^3 \text{ kPa}$  dan tanah natural + 10% *fly ash*  $1192.148 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Terlihat bahwa tanah + 10% *fly ash* memiliki modulus geser maksimum yang lebih besar dari pada tanah natural.

Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai kepadatan kering saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 10% *fly ash* sebesar  $13.75 \text{ kN/m}^3$  lebih besar dibandingkan tanah natural  $12.23 \text{ kN/m}^3$  dan nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3 \text{ kPa}$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural sedangkan nilai kepadatan kering meningkat sebesar 3.694 % dari tanah natural.

#### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Derajat Kejejuhan ( $S_r$ )**

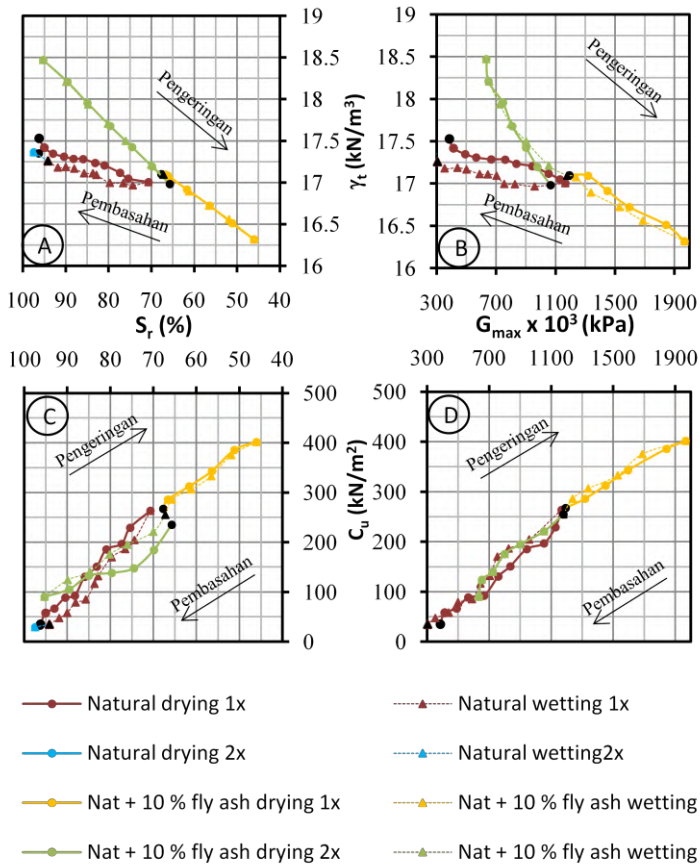
Gambar 4.65E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejejuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk derajat kejejuhan yang sama  $\pm 70 \%$  nilai modulus geser maksimum tanah natural  $1166.207 \times 10^3 \text{ kPa}$  dan tanah natural + 10% *fly ash*  $1192.148 \times 10^3$

kPa. Terlihat bahwa tanah yang distabilisasi memiliki modulus geser maksimum yang lebih besar daripada tanah natural.

Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai modulus geser saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa dan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 67.218 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 %. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural sedangkan nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural.

#### **K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.66A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 10% *fly ash* sebesar 67.218 % lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural 94.144 % dan nilai berat volume tanah natural + 10% *fly ash* sebesar  $17.09 \text{ kN/m}^2$  lebih besar dibandingkan dengan tanah natural  $17.26 \text{ kN/m}^2$ . Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural sedangkan nilai berat volume tanah meningkat sebesar 3.720 % dari tanah natural.



**Gambar 4.67** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.67B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai modulus geser saat kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x) tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa. Begitu juga dengan nilai berat volume tanah natural + 10% *fly ash* sebesar  $17.09 \text{ kN/m}^2$  lebih besar dibandingkan dengan tanah natural  $17.26 \text{ kN/m}^2$ . Hal ini disebabkan karena tanah yang distabilisasi lebih rapat dan padat dibandingkan dengan tanah natural. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural sedangkan nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural.

#### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

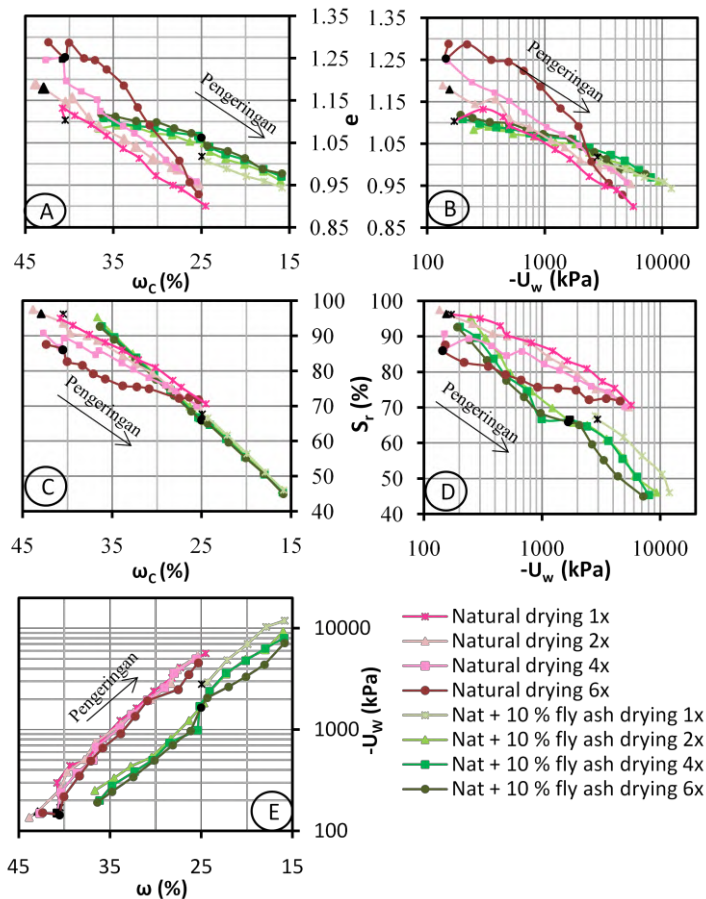
Gambar 4.67C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk nilai derajat kejenuhan yang sama, nilai kohesi tanah natural + 10% *fly ash* lebih besar dibanding nilai kohesi tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai derajat kejenuhan sebesar 80 %, tanah natural memiliki nilai kohesi sebesar  $188.543 \text{ kN/m}^2$  dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai kohesi sebesar  $176.175 \text{ kN/m}^2$ . Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai kohesi tanah natural + 10% *fly ash* sebesar  $254.959 \text{ kN/m}^2$  lebih besar dari tanah natural sebesar  $34.822 \text{ kN/m}^2$ , begitu juga dengan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* 67.218 % lebih kecil dari tanah natural 94.144%. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai derajat kejenuhan meningkat sebesar 0.704 % dari tanah natural sedangkan nilai kohesi meningkat sebesar 4.209 % dari tanah natural.

## **N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )**

Gambar 4.67D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Untuk nilai modulus geser maksimum yang sama, nilai kohesi tanah natural + 10% *fly ash* lebih kecil dibanding nilai kohesi tanah natural. Sebagai contoh untuk nilai modulus geser maksimum sebesar 1100 kPa, tanah natural memiliki nilai kohesi sebesar 216.922 kN/m<sup>2</sup> dan tanah natural + 10% *fly ash* memiliki nilai kohesi sebesar 233.423 kN/m<sup>2</sup>. Dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting 1x*), nilai modulus geser maksimum tanah + 10% *fly ash* sebesar  $1177.956 \times 10^3$  kPa lebih besar dari tanah natural sebesar  $305.149 \times 10^3$  kPa, begitu juga dengan nilai kohesi tanah natural + 10% *fly ash* sebesar 254.959 kN/m<sup>2</sup> lebih besar dari tanah natural sebesar 34.822 kN/m<sup>2</sup>. Akibat penambahan 10% *fly ash* nilai modulus geser maksimum meningkat sebesar 5.407 % dari tanah natural sedangkan nilai kohesi meningkat sebesar 4.209 % dari tanah natural.

### **4.5.2.4 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang pada Siklus 1x, 2x, 4x dan 6x**

Seiring penambahan proses pengeringan (pengeringan berulang) yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.68, 4.69, dan 4.70.



**Gambar 4.68** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural+ 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.68A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* akibat proses pengeringan berulang. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial) nilai angka pori pada tanah natural + 10% *fly ash* lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan penambahan 10% *fly ash* mengakibatkan berat butiran padat bertambah sehingga volume butiran padat ( $V_s$ ) bertambah mengisi ruang pori sehingga volume pori ( $V_v$ ) menurun. Untuk memperjelas perubahan nilai angka pori tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama akan diperlihatkan pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Nilai kadar air dan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 10 % *Fly Ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	24.969
	$e$	1.104	1.018
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	24.710
	$e$	1.179	1.049
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	25.190
	$e$	1.247	1.060
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	25.043
	$e$	1.253	1.062

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10 % *Fly Ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 10 % *Fly Ash* meningkat sebesar 4.739 % dari tanah natural.

### B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.68B adalah kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif untuk tanah natural + 10 % *Fly Ash* akibat proses pengeringan berulang. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial) nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi cenderung lebih kecil sehingga kadar air kertas filter whatman menurun sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Tabel 4.9 akan menunjukkan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada kondisi yang sama untuk tanah natural maupun tanah natural + 10 % *Fly Ash*.

**Tabel 4.9** Nilai tegangan air pori negatif dan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 10 % *Fly Ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$-U_w$ (kPa)	170.221	2815.912
	$e$	1.104	1.018
2x	$-U_w$ (kPa)	154.978	1827.599
	$e$	1.179	1.049
4x	$-U_w$ (kPa)	150.229	1711.739
	$e$	1.247	1.060
6x	$-U_w$ (kPa)	144.038	1659.221
	$e$	1.253	1.062

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10 % *Fly Ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 10 % *Fly Ash* meningkat sebesar 4.739 % dan tegangan air pori negatif menurun sebesar 69.389 % dari tanah natural.

### C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.68C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural + 10% *fly ash* akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 1.932 % dari tanah natural.

### D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.68D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan dengan tegangan air pori negatif (*suction*) pada tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif tanah natural setelah distabilisasi meningkat, sedangkan nilai derajat kejenuhannya menurun. Nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$-U_w$ (kPa)	170.221	2815.912
	$S_r$ (%)	96.259	67.718
2x	$-U_w$ (kPa)	154.978	1827.599
	$S_r$ (%)	96.308	65.725
4x	$-U_w$ (kPa)	150.229	1711.739
	$S_r$ (%)	86.778	66.512

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
6x	$-U_w$ (kPa)	144.038	1659.221
	$S_r$ (%)	86.040	65.903

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 1.932 % dan tegangan air pori negatif menurun sebesar 69.389 % dari tanah natural.

#### E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )

Gambar 4.68E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dan tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif tanah yang distabilisasi meningkat dibandingkan tanah natural. Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.11.

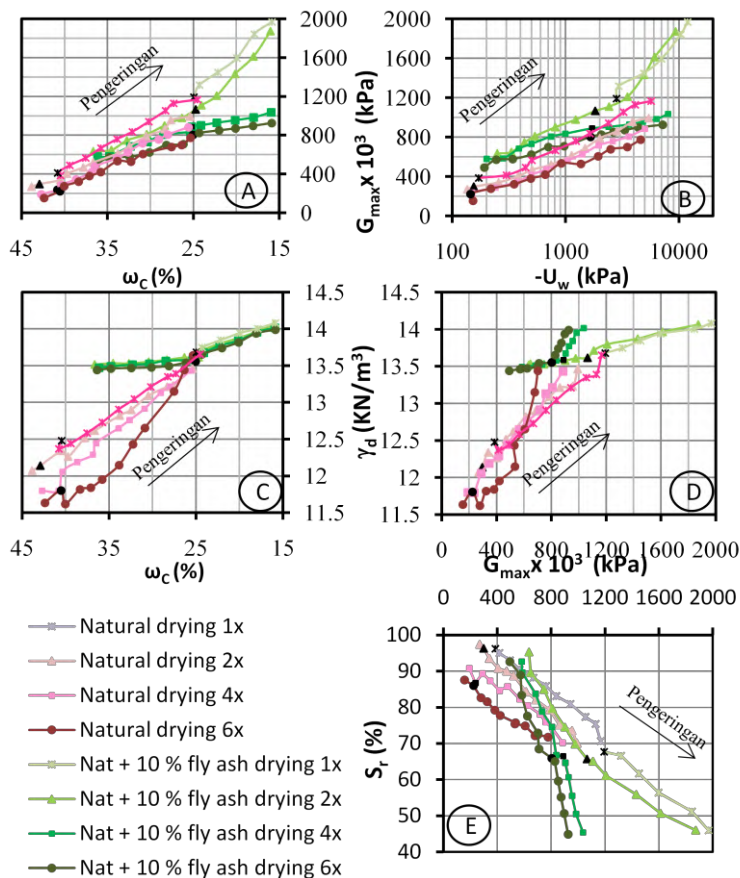
**Tabel 4.11** Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	24.969
	$-U_w$ (kPa)	170.221	2815.912
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	24.710
	$-U_w$ (kPa)	154.978	1827.599

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	25.190
	$-U_w$ (kPa)	150.229	1711.739
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	25.043
	$-U_w$ (kPa)	144.038	1659.221

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural 10% *fly ash* menurun sebesar 69.389 % dari tanah natural.



**Gambar 4.69** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural+ 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ )

Gambar 4.69A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum tanah yang distabilisasi meningkat dibandingkan tanah natural. Nilai kadar air dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Nilai kadar air dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	24.969
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1192.148
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	24.710
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	1065.083
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	25.190
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	887.859
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	25.043
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	802.596

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural 10% *fly ash* meningkat sebesar 6.005 % dari tanah natural.

### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ )

Gambar 4.69B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum tanah natural setelah distabilisasi meningkat. Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$-U_w$ (kPa)	170.221	2815.912
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1192.148
2x	$-U_w$ (kPa)	154.978	1827.599
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	1065.083
4x	$-U_w$ (kPa)	150.229	1711.739
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	887.859
6x	$-U_w$ (kPa)	144.038	1659.221
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	802.596

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 10% *fly ash* menurun sebesar 69.389 % dan modulus geser maksimum meningkat sebesar 6.005 % dari tanah natural.



## H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.69C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai kepadatan kering tanah yang distabilisasi meningkat dibandingkan tanah natural. Nilai kadar air dan kepadatan kering pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Nilai kadar air dan kepadatan kering tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	24.969
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.48	13.68
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	24.710
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.14	13.62
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	25.190
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.59
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	25.043
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.56

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai kepadatan kering tanah natural 10% *fly ash* meningkat sebesar 4.506 % dari tanah natural.

### I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.69D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum dan kepadatan kering tanah natural setelah distabilisasi meningkat. Nilai modulus geser maksimum dan kepadatan kering pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.15.

**Tabel 4.15** Nilai modulus geser maksimum dan kepadatan kering tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	384.898	1192.148
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.48	13.68
2x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	296.832	1065.083
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.14	13.62
4x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	236.569	887.859
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.59
6x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	222.801	802.596
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.56

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 6.005 % dan kepadatan kering meningkat sebesar 4.506 % dari tanah natural.

### J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ )

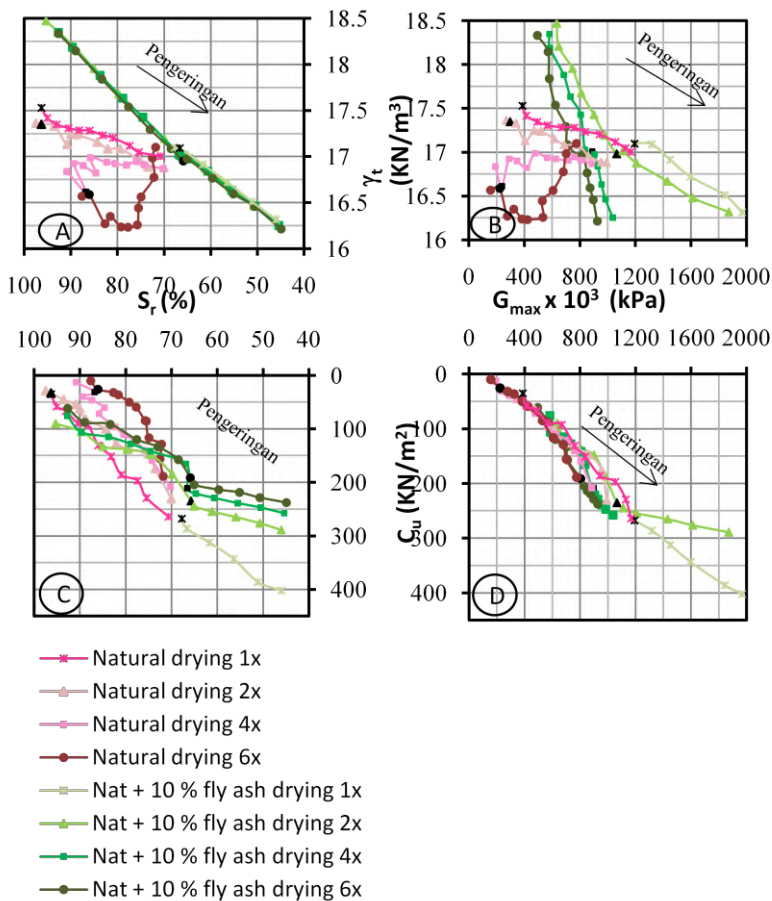
Gambar 4.69E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum tanah natural setelah distabilisasi meningkat sedangkan nilai derajat kejuhannya menurun. Nilai modulus geser maksimum dan derajat kejuhan pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.16.

**Tabel 4.16** Nilai modulus geser maksimum dan derajat kejuhan tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1192.148
	$S_r$ (%)	96.259	67.718
2x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	1065.083
	$S_r$ (%)	96.308	65.725
4x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	887.859
	$S_r$ (%)	86.778	66.512
6x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	802.596
	$S_r$ (%)	86.040	65.903

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 6.005 % dan derajat kejuhan meningkat sebesar 1.932 % dari tanah natural.



**Gambar 4.70** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.70A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai derajat kejenuhannya tanah natural setelah distabilisasi menurun sedangkan nilai berat volume tanahnya cenderung meningkat. Nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.17.

**Tabel 4.17** Nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % Fly Ash
1x	$S_r$ (%)	96.259	67.718
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.53	17.10
2x	$S_r$ (%)	96.308	65.725
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.35	16.98
4x	$S_r$ (%)	86.778	66.512
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.61	17.01
6x	$S_r$ (%)	86.040	65.903
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.59	16.95

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 1.932 % dan berat volume tanah meningkat sebesar 4.437 % dari tanah natural.

#### L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.70B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah untuk tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum dan nilai berat volume tanah natural setelah distabilisasi meningkat. Nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.18.

**Tabel 4.18** Nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % Fly Ash
1x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	384.898	1192.148
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.53	17.10
2x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	296.832	1065.083
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.35	16.98
4x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	236.569	887.859
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.61	17.01
6x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	222.801	802.596
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.59	16.95

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 6.005 % dan berat volume tanah meningkat sebesar 4.437 % dari tanah natural.

### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.70C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai derajat kejenuhannya tanah natural setelah distabilisasi menurun sedangkan nilai kohesinya meningkat. Nilai derajat kejenuhan dan kohesi tanah pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.19.

**Tabel 4.19** Nilai derajat kejenuhan dan kohesi tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$S_r$ (%)	96.259	67.718
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35.160	267.348
2x	$S_r$ (%)	96.308	65.725
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	32.578	235.082
4x	$S_r$ (%)	86.778	66.512
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	31.071	210.694
6x	$S_r$ (%)	86.040	65.903
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	25.811	191.199

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 1.932 % dan kohesinya meningkat sebesar 4.051 % dari tanah natural.

#### N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.70D adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash*. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum tanah natural setelah distabilisasi meningkat sedangkan nilai kohesinya meningkat. Nilai modulus geser maksimum dan kohesi tanah pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.20.

**Tabel 4.20** Nilai modulus geser maksimum dan kohesi tanah natural dan tanah natural + 10% *fly ash* pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	Natural + 10 % <i>Fly Ash</i>
1x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1192.148
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35.160	267.348
2x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	1065.083
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	32.578	235.082
4x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	887.859
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	31.071	210.694
6x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	802.596
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	25.811	191.199

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 10% *fly ash* yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum natural + 10% *fly ash* meningkat sebesar 6.005 % dan kohesinya meningkat sebesar 4.051 % dari tanah natural.



### 4.5.3 Hasil Pengujian Tanah Natural dan Tanah Natural + Mikro Biobakteri

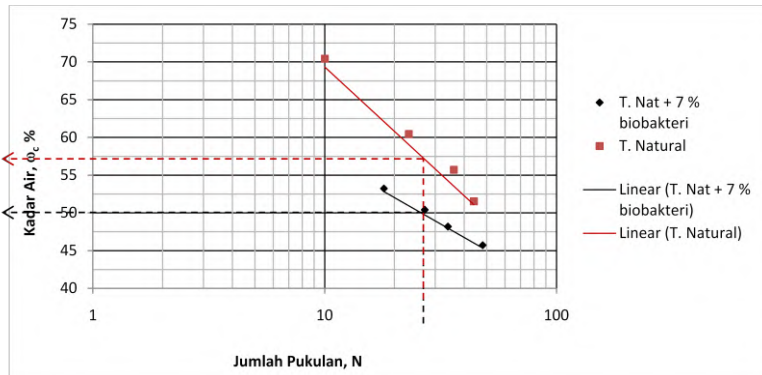
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

#### 4.5.3.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri.

#### A. Hasil Pengujian *Atterberg Limits*

Pengujian *Atterberg limits* tanah natural dan tanah + mikro biobakteri terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.71.



**Gambar 4.71** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.70 kadar air pada ketukan ke 25 untuk tanah natural adalah 57 % sedangkan tanah + 7 % mikro

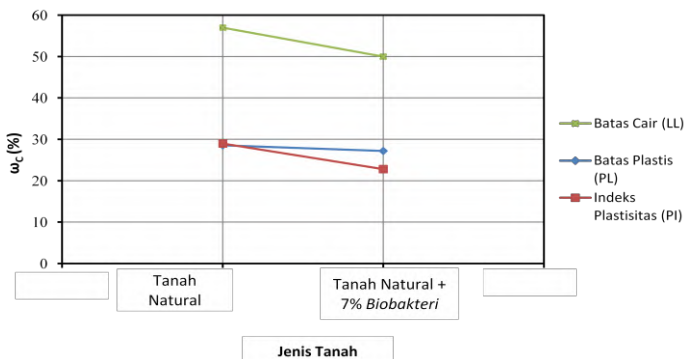
biobakteri adalah 50 %. Sedangkan berdasarkan uji di laboratorium nilai batas plastis untuk tanah natural adalah 25.958 % sedangkan tanah + 7 % mikro biobakteri adalah 27.205 %. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis.

**Tabel 4.21.** Hasil pengujian *Atterberg limit* pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri

Pengujian <i>Atterberg limit</i>	Jenis Tanah	
	Natural	Natural + 7 % Biobakteri
- Batas Cair (LL)	57 %	50 %
- Batas Plastis (PL)	25.958 %	27.205 %
- Indeks Plastisitas (PI)	31.042 %	22.795 %

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari tabel 4.21 terlihat bahwa akibat penambahan 7% mikro biobakteri nilai batas-batas Atterberg mengalami perubahan dibandingkan tanah natural. Untuk memperjelas perubahan nilai batas-batas Atterberg akan diperlihatkan pada gambar 4.72.



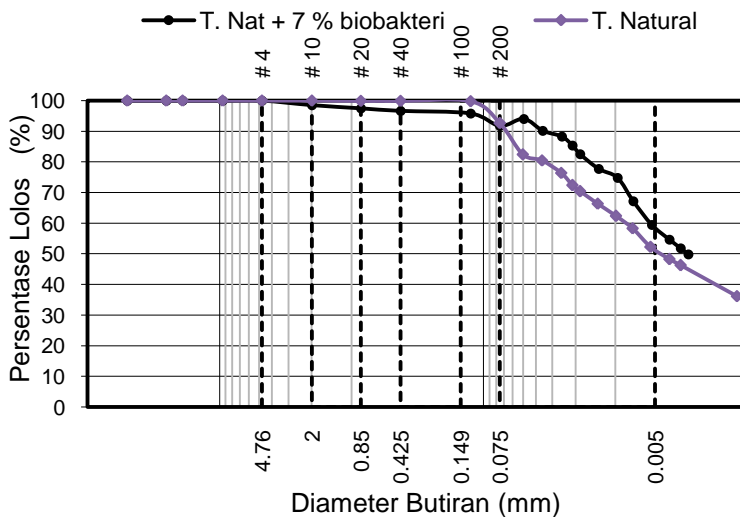
**Gambar 4.72** Hasil pengujian batas batas Atterberg pada tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari gambar 4.72 tanah + 7 % mikro biobakteri memiliki nilai batas plastis meningkat 4.804 % nilai batas cair (LL) menurun 12.28 % dan plastisitas indeks (PI) menurun 26.57 % dibandingkan dengan tanah natural. Penurunan nilai batas cair dan indeks plastisitas menunjukkan bahwa adanya perbaikan sifat-sifat fisik tanah pada tanah + 7 % mikro biobakteri.

## B. Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tabah natural dan tanah natural + mikro biobakteri dapat dilihat pada gambar 4.73.



**Gambar 4.73** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butiran diatas didapat persentase masing-masing fraksi tanah. Tabel 4.22 memperlihatkan persentase masing-masing fraksi tanah tersebut. :

**Tabel 4.22.** Hasil pengujian analisa ukuran butir tanah pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri

Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer	Jenis Tanah	
	Natural	Natural + 7 % Biobakteri
- Fraksi Kerikil ( <i>Gravel</i> )	0 %	0 %
- Fraksi Pasir ( <i>Sand</i> )	7.31 %	8.214 %
- Fraksi Lanau ( <i>Silt</i> )	56.487 %	41.878 %
- Fraksi Lempung ( <i>Clay</i> )	36.203 %	49.908 %

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan hasil gradasi ukuran butir, fraksi pasir tanah + mikro biobakteri meningkat 12.367 %, fraksi lanau menurun 25.86 %, dan fraksi lempung meningkat 38.856 % dibandingkan tanah natural. Adanya peningkatan persentase butiran kasar menunjukkan stabilisasi menggunakan mikro biobakteri bisa memperbaiki distribusi ukuran butir dari tanah natural.

### C. Klasifikasi Tanah

Tabel 4.23 memperlihatkan klasifikasi tanah untuk tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri.

**Tabel 4.23.** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri

Klasifikasi Tanah	Jenis Tanah	
	Natural	Natural + 7 % Biobakteri
- USCS	CH	CL
- AASHTO	A - 7 - 6	A - 7 - 6

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari tabel 4.23 menunjukkan adanya stabilisasi menggunakan mikro biobakteri merubah klasifikasi tanahnya. Berdasarkan USCS tanah bengawan Solo masuk ke dalam kelompok tanah lempung berplastisitas rendah sampai sedang.

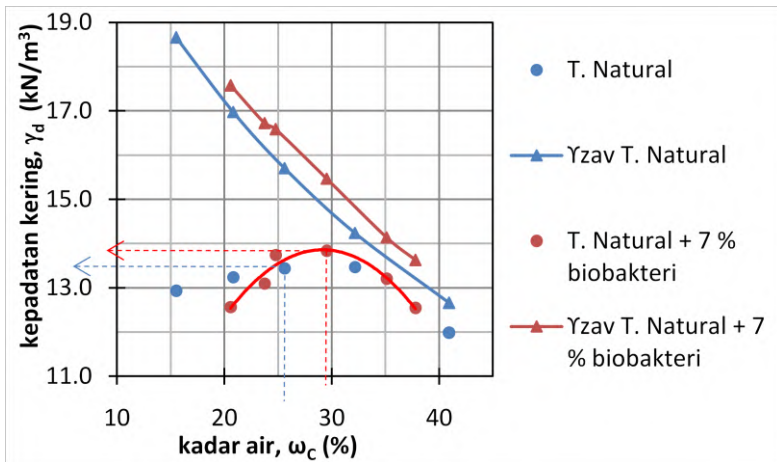
Sedangkan menurut AASHTO tidak ada perubahan pengelompokkan tanah.

#### 4.5.3.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika dikenai beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural dan tanah natural + mikro biobakteri.

##### A. Hasil Pengujian Proctor Standar

Gambar 4.74 adalah kurva pemadatan standar tanah natural dan tanah + mikro biobakteri.



**Gambar 4.74** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri

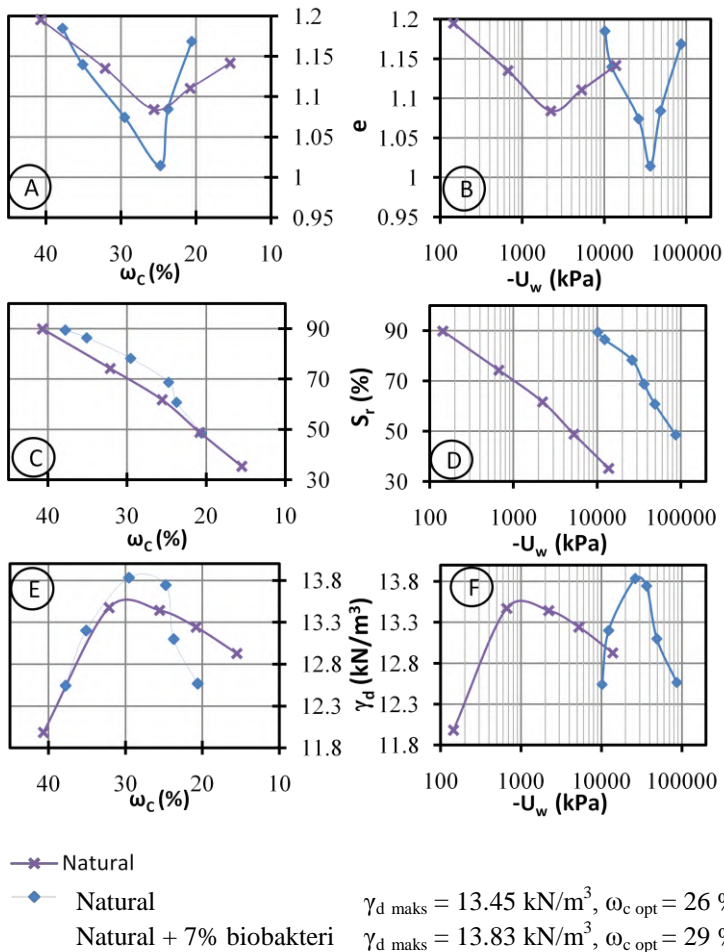
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Gambar 4.74 memperlihatkan stabilisasi tanah natural + 7 % mikro biobakteri meningkatkan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) yang awalnya sebesar 13.45  $\text{kN/m}^3$  menjadi 13.83  $\text{kN/m}^3$  atau

meningkat 2.825 %. Kadar air yang dibutuhkan untuk mencapai kepadatan kering maksimum pun meningkat yang awalnya sebesar 25 % menjadi 29 % atau meningkat 11.538 %. hal ini menunjukkan bahwa tanah natural + 7 % mikro biobakteri untuk mencapai kepadatan kering maksimum memerlukan air yang lebih banyak dibandingkan tanah natural.

#### **B. Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural + Mikro Biobakteri**

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri.



**Gambar 4.75** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**a) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.75A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik tanah. Pada kondisi optimum nilai angka pori menurun 0.929 % dan kadar air meningkat 11.538 %.

**b) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.75B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik dan mekanik tanah. Pada kondisi optimum nilai angka pori menurun 0.929 % dan tegangan air pori negatif meningkat 1081.128 %.

**c) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.75C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Terlihat bahwa dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik tanah. Pada kondisi optimum nilai kadar air meningkat 11.538 % dan derajat kejenuhan meningkat 26.797 %.

**d) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.75D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik dan mekanik tanah. Pada



kondisi optimum nilai derajat kejenuhan meningkat 26.797 % dan tegangan air pori negatif meningkat 1081.128 %.

**e) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.75E dalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik tanah. Pada kondisi optimum nilai kadar air meningkat 11.538 % dan kepadatan kering meningkat 2.825 %.

**f) Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.75F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Pada kurva tersebut menunjukkan dengan adanya stabilisasi tanah + 7 % mikro biobakteri merubah parameter fisik dan dinamik tanah. Pada kondisi optimum kepadatan kering meningkat 2.825 % dan tegangan air pori negatif meningkat 1081.128 %.

**C. Hasil Pengujian Triaksial**

Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri.

**Tabel 4.24** Hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* tanah natural dan tanah natural + 7 % Biobakteri

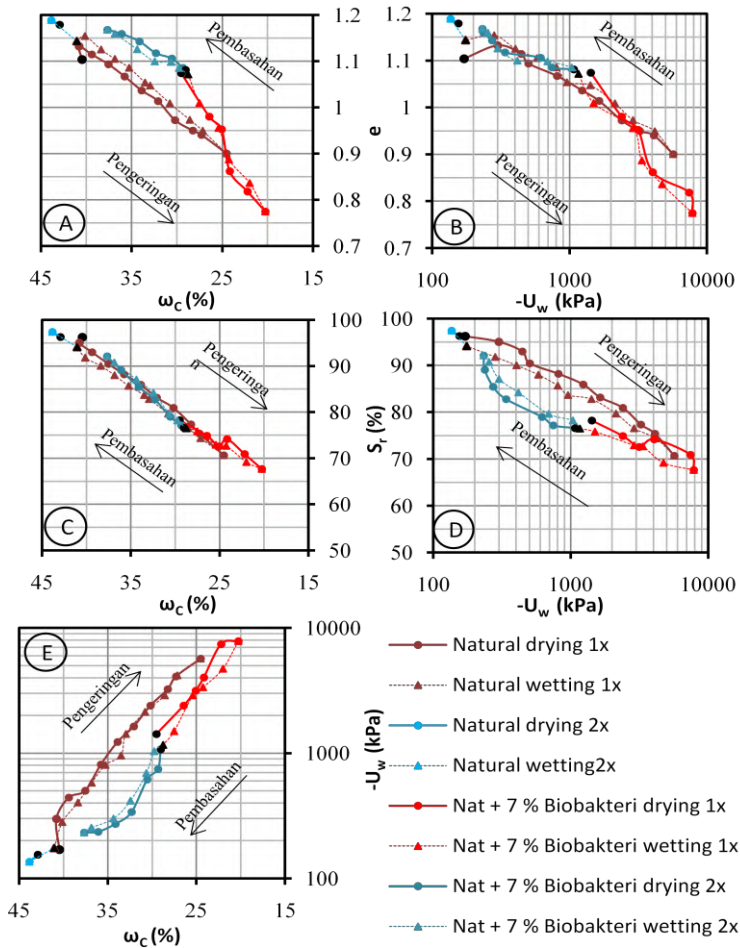
Parameter	Jenis Tanah	
	natural	natural + 7 % Biobakteri
$\phi$ ( $^{\circ}$ )	4.3	2.6
$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	55.6	221.1
$E_1$ (kN/m <sup>2</sup> )	3970.8	23023.5
$E_2$ (kNm <sup>2</sup> )	3810.86	15660.6

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Dari tabel terlihat adanya penambahan 7 % mikro biobakteri nilai sudut geser dalam tanah menurun 39.535%, nilai kohesi meningkat 297.662 %, nilai modulus elastisitas pertama meningkat 504.207 %, modulus elastisitas kedua meningkat 302.5 %.

#### 4.5.3.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri dari siklus pengeringan-pembasaan pada siklus pertama dan kedua.



**Gambar 4.76** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.76A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai angka pori pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan penambahan 7 % mikro biobakteri menyebabkan volume pori mengecil dan volume solid meningkat. Dimana angka pori adalah perbandingan antara volume pori dengan volume solid ( $e = V_v/V_s$ ), sehingga angka pori menurun. Untuk lebih memperjelas nilai angka pori diatas diperlihatkan pada tabel 4.25.

**Tabel 4.25** Nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$\omega_c$ (%)	e
Natural	41.046	1.144
Natural + 7 % Mikro Biobakteri	28.768	1.072

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 7.237 % dari tanah natural.

### B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.76B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) tegangan air pori

negatif pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah + 7 % mikro biobakteri lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Untuk memperjelas nilai angka pori dan nilai tegangan air pori negatif untuk tanah natural dan + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama akan diperlihatkan pada tabel 4.26.

**Tabel 4.26** Nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$-U_w$ (kPa)	e
Natural	175.131	1.144
Natural + 7 % Mikro Biobakteri	1164.197	1.072

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 7.237 % dan tegangan air pori negatif menurun 65.278 % dari tanah natural.

### C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.76C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai derajat kejenuhan + 7 % mikro biobakteri lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural. Hal ini disebabkan kadar air titik inisial *wetting* tanah natural lebih besar dibandingkan + 7 % mikro biobakteri. Semakin besar kadar air berarti berat air dan volume air besar

sehingga menyebabkan nilai derajat kejenuhan besar. Untuk memperjelas nilai derajat kejenuhan pada kondisi yang sama dapat dilihat pada tabel 4.27.

**Tabel 4.27** Nilai kadar air dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$\omega_c$ (%)	$S_r$ (%)
Natural	41.046	94.144
Natural + 7 % Mikro Biobakteri	28.768	76.480

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7 % mikro biobakteri rata-rata meningkat 1.966 % dari tanah natural.

#### **D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.76D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 7 % mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (*wetting* 1x), nilai derajat kejenuhan + 7 % mikro biobakteri lebih kecil dari tanah natural, sedangkan untuk nilai tegangan air pori + 7 % mikro biobakteri lebih besar dari tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif diatas diperlihatkan pada tabel 4.28.

**Tabel 4.28** Nilai derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$S_r$ (%)	$-U_w$ (kPa)
Natural	94.144	175.131
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	76.480	1164.197

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 1.966 % dan tegangan air pori negatif menurun 65.278 % dari tanah natural.

#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.76E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai tegangan air pori negatif pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah + 7 % mikro biobakteri lebih kecil dibandingkan tanah natural. Selain itu, kadar air tanahnya pun berpengaruh sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Untuk lebih memperjelas nilai kadar air dan tegangan air pori negatif diatas diperlihatkan pada tabel 4.29.

**Tabel 4.29** Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah + 7 % mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$\omega_c$ (%)	$-U_w$ (kPa)
Natural	41.046	175.131
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	28.768	1164.197

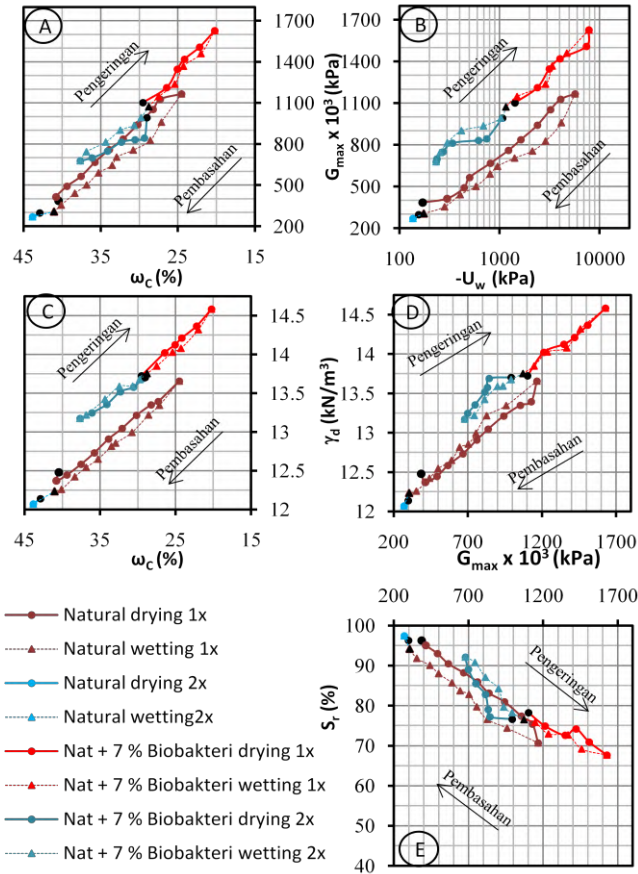
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata menurun 65.278 % dari tanah natural.

#### F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.77A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai modulus geser maksimum pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan pada tanah + 7 % mikro biobakteri lebih rapat dan padat sehingga kecepatan rambat sinyal lebih cepat dari tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai kadar air dan modulus geser maksimum diatas diperlihatkan pada tabel 4.30.





**Gambar 4.77** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**Tabel 4.30** Nilai kadar air dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri dalam kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$\omega_c$ (%)	$G_{max}$ (kPa)
Natural	41.046	305.149
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	28.768	1071.622

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.77B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah + 7 % mikro biobakteri lebih kecil dari tanah natural sehingga nilai tegangan air pori negatifnya dan modulus geser maksimum meningkat. Untuk lebih memperjelas nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum diatas diperlihatkan pada tabel 4.31.

**Tabel 4.31** Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri dalam kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$-U_w$ (kPa)	$G_{max}$ (kPa)
Natural	175.131	305.149
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	1164.197	1071.622

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata menurun 65.278 % dan modulus geser maksimum meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.77C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai kepadatan kering pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan penambahan 7 % mikro biobakteri meningkatkan berat butiran solid dari tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai kepadatan kering akan diperlihatkan pada tabel 4.32 di bawah ini.

**Tabel 4.32** Nilai kadar air dan kepadatan kering pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i>	
	$\omega_c$ (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
Natural	41.046	12.23
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	26.987	13.83

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai kepadatan kering tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 4.372 % dari tanah natural.

#### **I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.77D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan tanah + 7 % mikro biobakteri lebih padat dan rapat dari tanah natural sehingga nilai modulus geser maksimum meningkat. Untuk lebih memperjelas nilai kepadatan kering dan nilai modulus geser maksimum akan diperlihatkan pada tabel 4.33 di bawah ini.

**Tabel 4.33** Nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i>	
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$G_{maks}$ (kPa)
Natural	12.23	305.149 x 10 <sup>3</sup>
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	13.83	1190.758 x 10 <sup>3</sup>

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai kepadatan kering tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 4.372 % dan modulus geser maksimum meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.77E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai modulus geser maksimum lebih besar dibandingkan tanah natural dan nilai derajat kejenuhan tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih kecil dibandingkan tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai derajat kejenuhan dan nilai modulus geser maksimum akan diperlihatkan pada tabel 4.34 di bawah ini.

**Tabel 4.34** Nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

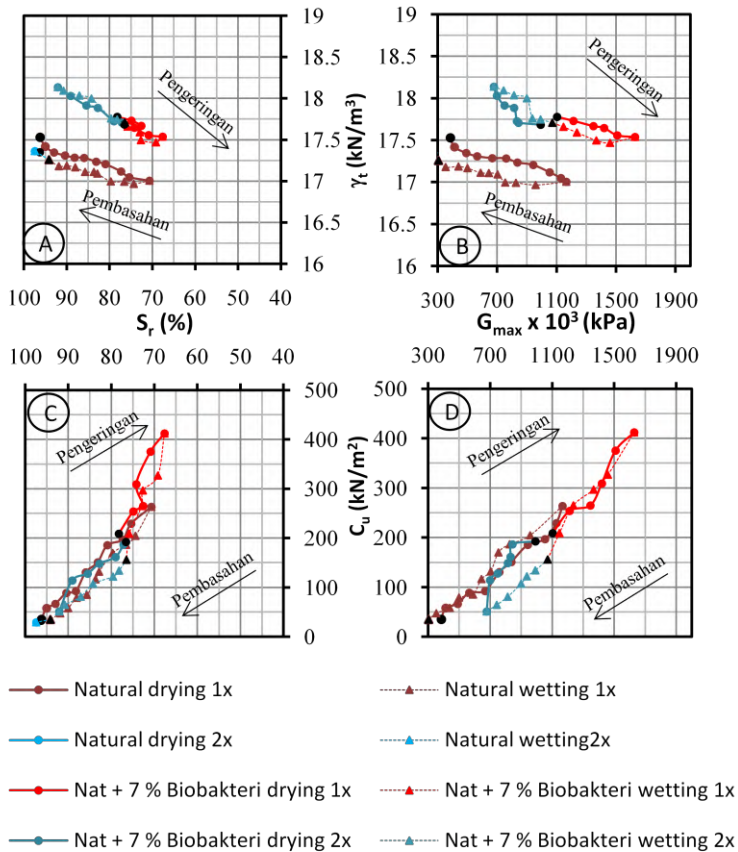
Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i>	
	$G_{maks}$ (kPa)	Sr (%)
Natural	$305.149 \times 10^3$	94.144
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	$1190.758 \times 10^3$	76.280

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 1.966 % dan modulus geser maksimum meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.78A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 2x) berat volume tanah pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dan nilai derajat kejenuhan lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai berat volume tanah dan derajat kejenuhan akan diperlihatkan pada tabel 4.35 di bawah ini.



**Gambar 4.78** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**Tabel 4.35** Nilai berat volume tanah dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Tanah	Inisial <i>wetting</i> 2x	
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>2</sup> )	$S_r$ (%)
Natural	1.726	94.144
Nat + 7 % Biobakteri	1.771	76.480

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai berat volume tanah tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 4.6362 % dan derajat kejenuhan meningkat 1.966 % dari tanah natural.

#### **L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.78B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah untuk tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai modulus geser maksimum pada tanah + 7% mikro biobakteri cenderung lebih besar daripada tanah natural. Hal ini disebabkan karena tanah + 7% mikro biobakteri lebih rapat dan padat dibandingkan dengan tanah natural sehingga kecepatan rambat sinyal lebih cepat. Untuk lebih memperjelas besarnya nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah pada kondisi yang sama akan diperlihatkan pada tabel 4.36.



**Tabel 4.36** Nilai berat volume tanah dan nilai modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

J. Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$G_{\max}$ (x 10 <sup>3</sup> kPa)
Natural	17.26	305.149
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	17.71	992.227

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai berat volume tanah tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 4.636 % dan modulus geser maksimum meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.78C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai kohesi pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan akibat penambahan 7 % mikro biobakteri struktur tanah lebih rapat dari tanah natural sehingga meningkatkan kemampuan tarik menarik antar partikel tanah. Untuk lebih memperjelas nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum akan diperlihatkan pada tabel 4.37 di bawah ini.

**Tabel 4.37** Nilai kohesi dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri dalam kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$S_r$ (%)
Natural	34.822	94.144
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	155.743	76.480

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata meningkat 1.966% dan kohesi menurun 1.628 % dari tanah natural.

#### N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.78D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada tanah + 7 % mikro biobakteri cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan akibat penambahan 7 % mikro biobakteri struktur tanah lebih rapat dari tanah natural sehingga meningkatkan kemampuan tarik menarik antar partikel tanah. Selain itu, tanah yang lebih rapat meningkatkan cepat rambat sinyal. Untuk lebih memperjelas nilai kohesi dan nilai modulus geser maksimum akan diperlihatkan pada tabel 4.38 di bawah ini.

**Tabel 4.38** Nilai modulus geser maksimum dan kohesi pada tanah natural dan tanah + 7% mikro biobakteri dalam kondisi yang sama

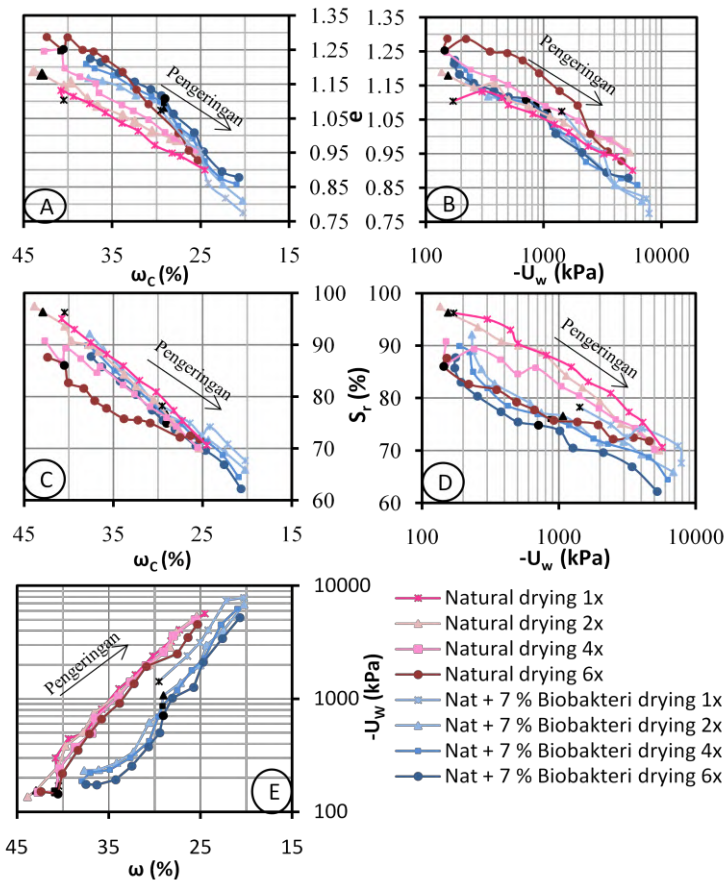
Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$G_{\max}$ (kpa)	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )
Natural	1166.207	2.636
Nat + 7 % Mikro Biobakteri	1855.060	4.504

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x mengakibatkan nilai kohesi tanah natural + 7% mikro biobakteri rata-rata menurun 1.628 % dan modulus geser maksimum meningkat 20.06 % dari tanah natural.

#### 4.5.3.4 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang pada Siklus 1x, 2x, 4x dan 6x

Seiring penambahan proses pengeringan (pengeringan berulang) yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.79, 4.80, dan 4.81.



**Gambar 4.79** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.79A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial) nilai angka pori pada tanah natural + 7% mikro biobakteri lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan penambahan 7% mikro biobakteri mengakibatkan berat butiran padat bertambah sehingga volume butiran padat ( $V_s$ ) bertambah mengisi ruang pori sehingga volume pori ( $V_v$ ) menurun. Akibat penambahan volume butiran padat dan menurunnya volume pori tersebut angka pori pun menurun ( $e = V_v/V_s$ ). Untuk memperjelas perubahan nilai angka pori tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama akan diperlihatkan pada tabel 4.39.

**Tabel 4.39** Nilai kadar air dan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	29.527
	$e$	1.104	1.074
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	29.042
	$e$	1.179	1.081
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	29.140
	$e$	1.247	1.095
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	29.052
	$e$	1.253	1.109

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 5.863 % dari tanah natural.

#### **B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e)**

Gambar 4.79B adalah kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial) nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi cenderung lebih kecil sehingga kadar air kertas filter whatman menurun sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Tabel 4.40 akan menunjukkan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada kondisi yang sama untuk tanah natural maupun tanah natural + 7% mikro biobakteri.

**Tabel 4.40** Nilai tegangan air pori negatif dan angka pori pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$-U_w$ (kPa)	170.221	1422.481
	e	1.104	1.074
2x	$-U_w$ (kPa)	154.978	1073.360
	e	1.179	1.081
4x	$-U_w$ (kPa)	150.229	866.292
	e	1.247	1.095
6x	$-U_w$ (kPa)	144.038	709.755
	e	1.253	1.109

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai angka pori tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 5.863 % dan tegangan air pori negatif menurun 69.12 % dari tanah natural.

**C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.79C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 3.027 % dari tanah natural.

**D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.79D adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan dengan tegangan air pori negatif (*suction*) pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif tanah natural setelah distabilisasi meningkat, sedangkan nilai derajat kejenuhannya menurun. Nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.41.

**Tabel 4.41** Nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$-U_w$ (kPa)	170.221	1422.481
	$S_r$ (%)	96.259	78.262
2x	$-U_w$ (kPa)	154.978	1073.360
	$S_r$ (%)	96.308	76.609
4x	$-U_w$ (kPa)	150.229	866.292
	$S_r$ (%)	86.778	76.040
6x	$-U_w$ (kPa)	144.038	709.755
	$S_r$ (%)	86.040	74.865

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 3.027 % dan tegangan air pori negatif menurun 69.12 % dari tanah natural.

#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.79E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dan tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif tanah yang distabilisasi meningkat dibandingkan tanah natural. Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.42.

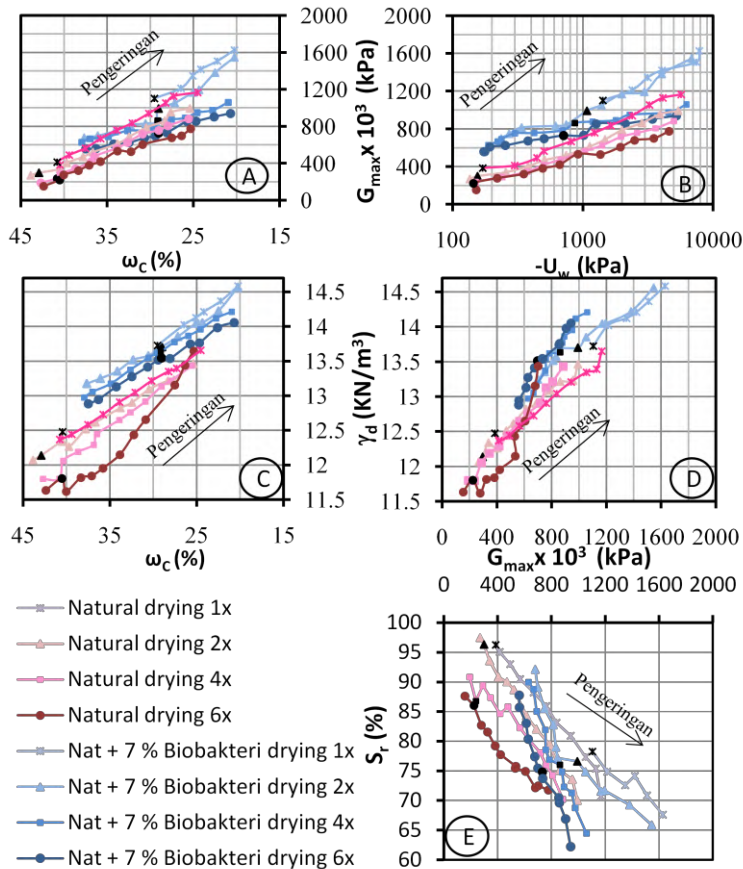


**Tabel 4.42** Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$\omega_c$ (%)	40.480	29.527
	$-U_w$ (kPa)	170.221	1422.481
2x	$\omega_c$ (%)	42.925	29.042
	$-U_w$ (kPa)	154.978	1073.360
4x	$\omega_c$ (%)	40.826	29.140
	$-U_w$ (kPa)	150.229	866.292
6x	$\omega_c$ (%)	40.532	29.052
	$-U_w$ (kPa)	144.038	709.755

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 7% mikro menurun 69.12 % dari tanah natural.



**Gambar 4.80** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.80A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum tanah + 7 % mikro biobakteri meningkat dibandingkan tanah natural. Nilai kadar air dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.43.

**Tabel 4.43** Nilai kadar air dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$\omega_c$ (%)	40,480	29,527
	$G_{max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384,898	1102,372
2x	$\omega_c$ (%)	42,925	29,042
	$G_{max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296,832	992,305
4x	$\omega_c$ (%)	40,826	29,140
	$G_{max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236,569	862,293
6x	$\omega_c$ (%)	40,532	29,052
	$G_{max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222,801	731,118

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 7% mikro meningkat 18.869 % dari tanah natural. Hal ini membuktikan akibat stabilisasi menggunakan bahan tambah diatas meningkatkan kecepatan rambat sinyal yang diakibatkan oleh tanah yang lebih rapat dan padat.

### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ )

Gambar 4.80B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai tegangan air pori negatif dan nilai modulus geser maksimum tanah + 7 % mikro biobakteri meningkat. Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.44.

**Tabel 4.44** Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$-U_w$ (kPa)	170,221	1422,481
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384,898	1102,372
2x	$-U_w$ (kPa)	154,978	1073,360
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296,832	992,305
4x	$-U_w$ (kPa)	150,229	866,292
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236,569	862,293
6x	$-U_w$ (kPa)	144,038	709,755
	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222,801	731,118

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 7% mikro menurun 69.12 % dan modulus geser maksimum meningkat 18.869 % dari tanah natural.

## H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.80C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kadar air terhadap kepadatan kering pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai kepadatan kering tanah + 7 % mikro biobakteri meningkat dari tanah natural. Nilai kadar air dan kepadatan kering pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.45.

**Tabel 4.45** Nilai kadar air dan kepadatan kering tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$\omega_c$ (%)	40,480	29,527
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,248	1,373
2x	$\omega_c$ (%)	42,925	29,042
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,214	1,370
4x	$\omega_c$ (%)	40,826	29,140
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,180	1,364
6x	$\omega_c$ (%)	40,532	29,052
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,180	1,355

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai kepadatan kering tanah natural + 7% mikro meningkat 4,625 % dari tanah natural. Hal ini disebabkan adanya stabilisasi dengan 7 % mikro biobakteri meningkatkan berat butiran solidnya.

### I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.80D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum dan kepadatan kering + 7% mikro biobakteri meningkat dari tanah natural. Nilai modulus geser maksimum dan kepadatan kering pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.46.

**Tabel 4.46** Nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	384.898	1102.372
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.48	13.73
2x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	296.832	992.305
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.14	13.70
4x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	236.569	862.293
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.64
6x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	222.801	731.118
	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.80	13.55

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai kepadatan kering tanah natural + 7% mikro meningkat 4.625 % dan modulus geser maksimum meningkat 18.869 % dari tanah natural. Hal ini disebabkan adanya stabilisasi menggunakan bahan tambah diatas tanah menjadi rapat dan padat sehingga kecepatan rambat sinyal semakin cepat.

**J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

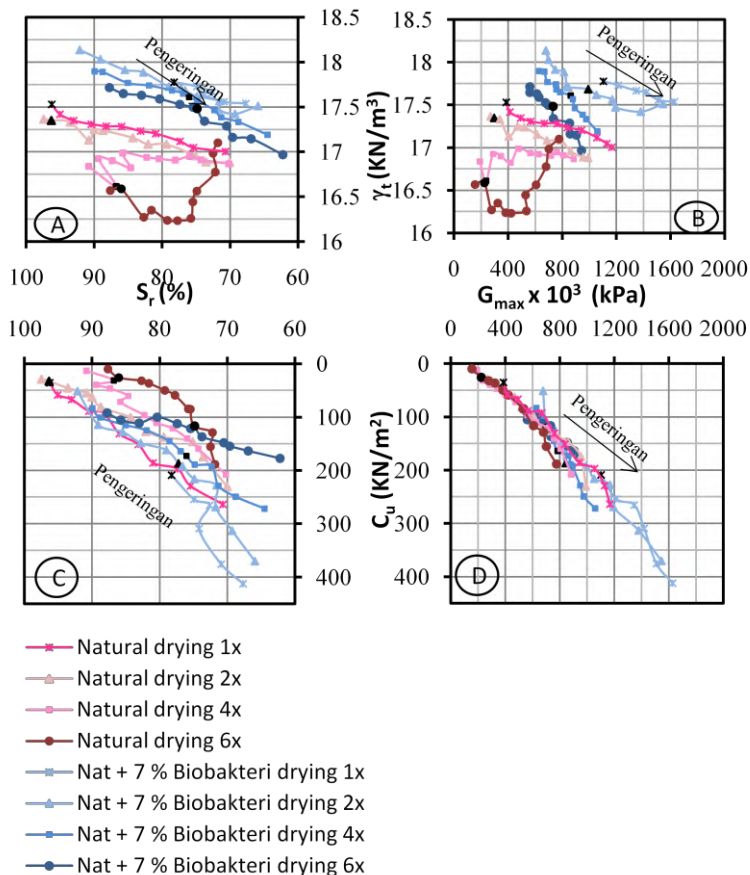
Gambar 4.80E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai modulus geser maksimum tanah + 7% mikro biobakteri meningkat, sedangkan nilai derajat kejenuhannya menurun. Nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.47.

**Tabel 4.47** Nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1102.372
	$S_r$ (%)	96.259	78.262
2x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	992.305
	$S_r$ (%)	96.308	76.609
4x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	862.293
	$S_r$ (%)	86.778	76.040
6x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	731.118
	$S_r$ (%)	86.040	74.865

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro menurun meningkat 3.027 % dan modulus geser maksimum meningkat 18.869 % dari tanah natural.



**Gambar 4.81** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.81A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai derajat kejenuhan tanah + 7 % mikro biobakteri menurun, sedangkan berat volume tanahnya meningkat dari tanah natural. Nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.48.

**Tabel 4.48** Nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$S_r$ (%)	96.259	78.262
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.53	17.78
2x	$S_r$ (%)	96.308	76.609
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.35	17.68
4x	$S_r$ (%)	86.778	76.040
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.61	17.61
6x	$S_r$ (%)	86.040	74.865
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.59	17.48

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 3.027 % dan berat volume tanah meningkat 4.919 % dari tanah natural.

**L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.81B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai berat volume tanah dan nilai modulus geser maksimum tanah + 7 % mikro biobakteri meningkat dari tanah natural. Nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.49.

**Tabel 4.49** Nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	384,898	1102,372
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,753	1,778
2x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	296,832	992,305
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,735	1,768
4x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	236,569	862,293
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,661	1,761
6x	$G_{\max}$ (x $10^3$ kPa)	222,801	731,118
	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,659	1,748

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai berat volume tanah tanah natural + 7% mikro biobakteri meningkat 4.919 % dan modulus geser maksimum meningkat 18.869 % dari tanah natural.

### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.81C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai derajat kejenuhan tanah + 7 % mikro biobakteri menurun sedangkan nilai kohesinya meningkat dari tanah natural. Nilai derajat kejenuhan dan kohesi pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.50.

**Tabel 4.50** Nilai derajat kejenuhan dan kohesi tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$S_r$ (%)	96.259	78.262
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35.160	208.819
2x	$S_r$ (%)	96.308	76.609
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	32.578	192.328
4x	$S_r$ (%)	86.778	76.040
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	31.071	172.836
6x	$S_r$ (%)	86.040	74.865
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	25.811	116.572

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai derajat kejenuhan tanah natural + 7% mikro meningkat 3.027 % dan kohesi meningkat 10.284 % dari tanah natural. Hal ini membuktikan akibat stabilisasi menggunakan 7 % mikro biobakteri meningkatkan gaya tarik menarik antar partikel yang sejenis dalam hal ini partikel tanah.

#### N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser ( $G_{\max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.81D adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural + 7% mikro biobakteri. Terlihat bahwa pada kondisi yang sama, misalnya kondisi inisial, nilai kohesi dan nilai modulus geser maksimum tanah + 7 % mikro biobakteri meningkat dari tanah natural. Nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada kondisi inisial dapat dilihat pada tabel 4.51.

**Tabel 4.51** Nilai modulus geser maksimum dan kohesi tanah natural dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada kondisi yang sama

Titik Inisial	Parameter	Jenis Tanah	
		Natural	7 % Mikro Biobakteri
1x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	384.898	1102.372
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35.160	208.819
2x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	296.832	992.305
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	32.578	192.328
4x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	236.569	862.293
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	31.071	172.836
6x	$G_{\max}$ ( $\times 10^3$ kPa)	222.801	731.118
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	25.811	116.572

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Kurva tersebut memperlihatkan dengan penambahan 7 % mikro biobakteri yang dipengaruhi proses pengeringan berulang mengakibatkan nilai kohesi tanah natural + 7% mikro meningkat 10.629 % dan modulus geser maksimum meningkat 18.869 % dari tanah natural. Hal ini disebabkan karena kemampuan tarik menarik antar partikel tanah meningkat maka kecepatan rambat sinyal semakin cepat pula.

#### 4.5.4 Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural + 6% Kapur, Tanah Natural + 10% Fly Ash dan Tanah Natural + 7% Mikro Biobakteri

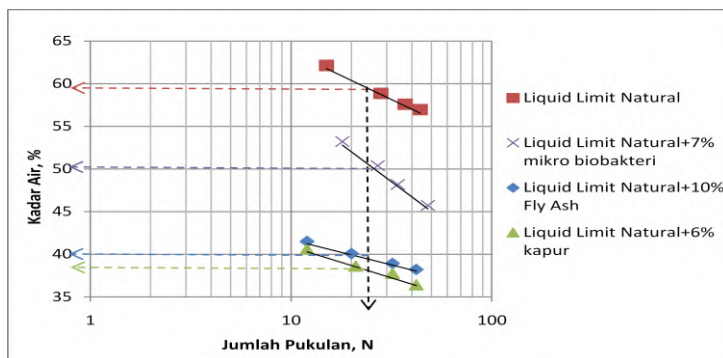
Berikut adalah hasil pengujian dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri yang terdiri dari sifat fisik dan mekanik sebelum mengalami proses *drying-wetting* dan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akibat proses *drying-wetting*.

##### 4.5.4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik digunakan untuk mengklasifikasikan tanah. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri.

#### D. Hasil Pengujian *Atterberg Limits*

Pengujian *Atterberg limits* dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri terdiri dari uji batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Hasil uji batas cair dapat dilihat pada gambar 4.82.



**Gambar 4.82** Hasil pengujian *liquid limit* pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

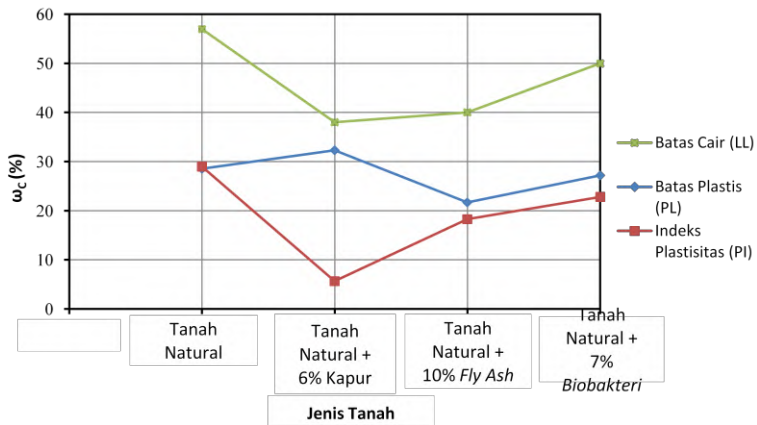
Berdasarkan gambar 4.82 pada ketukan ke 25 didapatkan nilai batas cair dan berdasarkan pengujian di laboratorium didapat nilai batas plastis. Nilai indeks plastisitas adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Sehingga dari hasil pengujian didapat juga nilai indeks plastisitas. Nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas yang dapat dilihat pada tabel 4.52.

**Tabel 4.52** Perbandingan nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi

Parameter	Jenis Tanah			
	natural	natural + 6% kapur	natural + 10% <i>fly ash</i>	natural + 7% mikro biobakteri
Batas Cair (LL)	57%	38%	40%	50%
Batas Plastis (PL)	28.54%	32.32%	21.71%	27.21%
Indeks Plastisitas (PI)	28.96%	5.68%	18.29%	22.80%

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Terlihat bahwa nilai indeks plastisitas pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dari nilai indeks plastisitas pada tanah natural. Hal ini menunjukkan bahwa semakin menurunnya nilai indeks plastisitas semakin bagus karakteristik tanahnya.

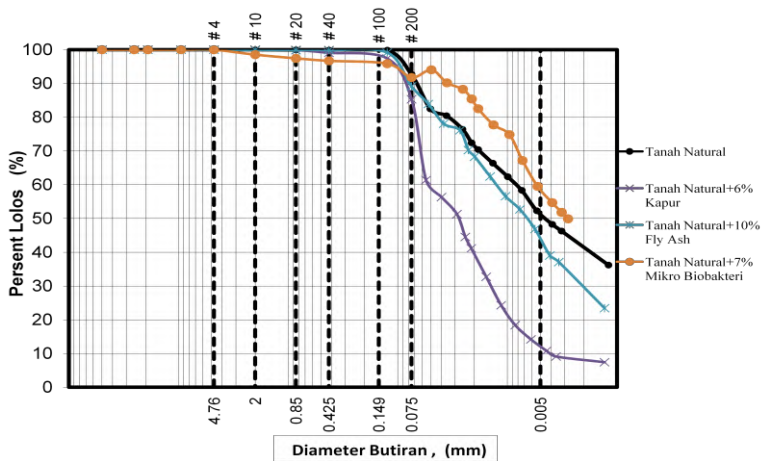


**Gambar 4.83** Hasil pengujian batas batas Atterberg pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gambar 4.83 nilai batas cair dan nilai indeks plastisitas pada tanah natural + 6% kapur mengalami penurunan paling besar. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan butiran kasar dan penurunan butiran halus pada analisa ukuran butir.

#### **E. Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butir**

Hasil pengujian analisa ukuran butir dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri dapat dilihat pada gambar 4.84.



**Gambar 4.84** Hasil pengujian analisa ukuran butir pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan gradasi ukuran butiran diatas didapat persentase masing-masing fraksi tanah pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri yang dapat dilihat pada tabel 4.53.



**Tabel 4.53** Persentase fraksi tanah pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi

Fraksi Tanah	Jenis Tanah			
	natural	natural + 6% kapur	natural + 10% <i>fly ash</i>	natural + 7% mikro biobakteri
Kerikil ( <i>Gravel</i> )	0%	0%	0%	0%
Pasir ( <i>Sand</i> )	7.31%	14.67%	10.83%	8.21%
Lanau ( <i>Silt</i> )	56.49%	77.91%	65.74%	41.88%
Lempung ( <i>Clay</i> )	36.20%	7.42%	23.43%	49.91%

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Terlihat bahwa penambahan stabilisasi menyebabkan berkurangnya butiran halus dan bertambahnya butiran kasar. Semakin sedikit butiran halus yang terkandung dalam tanah semakin baik karakteristik tanah tersebut. Dalam pengujian ini tanah natural + 6% kapur memiliki butiran halus paling kecil.

#### **F. Klasifikasi Tanah**

Berdasarkan sifat-sifat fisik diatas, dapat kita kelompokkan tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri kedalam klasifikasi menurut USCS dan menurut AASHTO yang dapat dilihat pada tabel 4.54.

**Tabel 4.54** Perbandingan klasifikasi tanah pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi

Klasifikasi Tanah	Jenis Tanah			
	natural	natural + 6% kapur	natural + 10% <i>fly ash</i>	natural + 7% mikro biobakteri
USCS	CH	ML	CL	CL
AASHTO	A - 7 - 6	A - 4	A - 6	A - 7 - 6

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

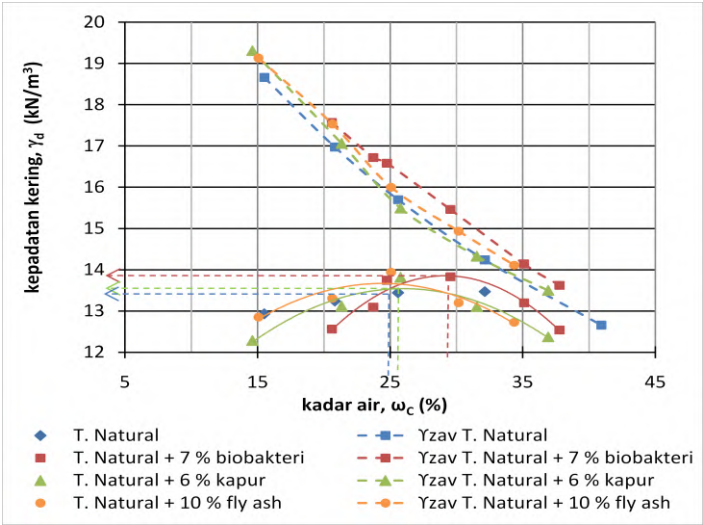
Terlihat akibat adanya penambahan stabilisasi, tanah natural mengalami peningkatan klasifikasi tanah baik menurut USCS dan menurut AASHTO. Hal ini disebabkan karena bahan stabilisasi membuat berkurangnya butiran halus yang terkandung pada tanah natural dan dapat menurunkan nilai indeks plastisitas. Dalam pengujian ini tanah natural + 6% kapur memiliki klasifikasi paling baik.

#### 4.5.4.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik adalah uji untuk mengetahui perilaku tanah jika dikenai beban dari luar. Berikut adalah hasil pengujian sifat mekanik dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri.

#### F. Hasil Pengujian Proctor Standar

Hasil pengujian Proctor standar dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri dapat dilihat pada gambar 4.85.



**Gambar 4.85** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan grafik pemadatan diatas didapat nilai kepadatan kering maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri yang dapat dilihat pada tabel 4.55.

**Tabel 4.55** Perbandingan nilai kepadatan kering maksimum pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi

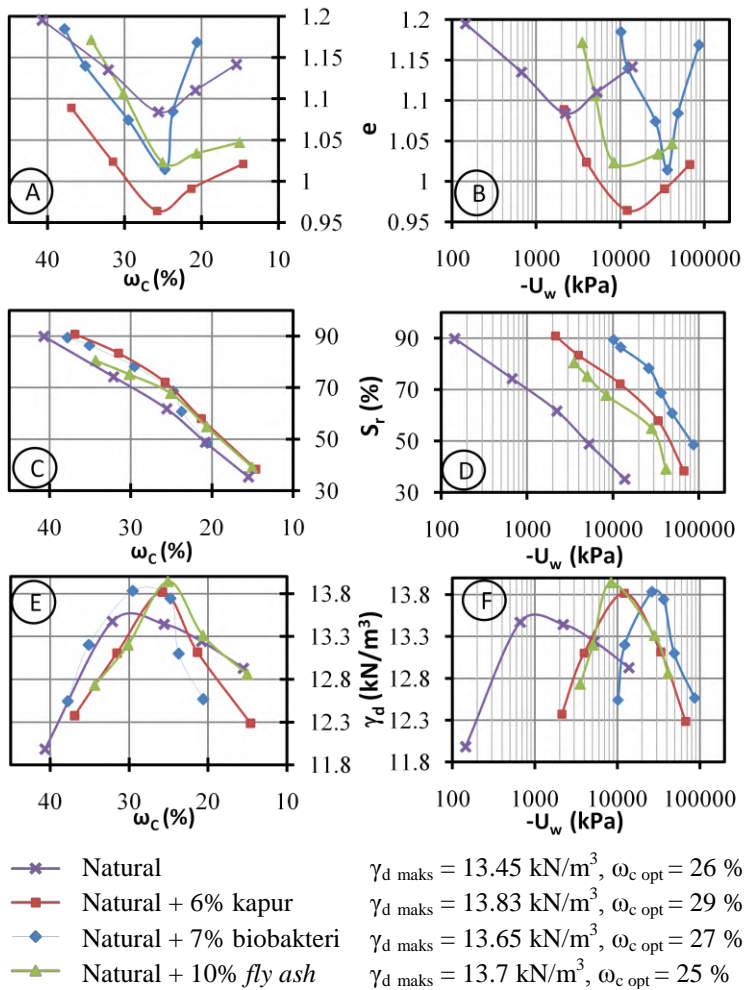
Parameter	Jenis Tanah			
	natural	natural + 6% kapur	natural + 10% <i>fly ash</i>	natural + 7% mikro biobakteri
$\omega_c$ opt. (%)	26	27	25	29
$\gamma_d$ maks. (kN/m <sup>3</sup> )	13.45	13.65	13.7	13.83

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Terlihat akibat adanya penambahan stabilisasi, tanah natural mengalami peningkatan nilai kepadatan kering. Hal ini disebabkan karena bahan stabilisasi membuat berkurangnya butiran halus dan bertambahnya butiran kasar yang terkandung pada tanah natural. Dalam pengujian ini tanah natural + 7% mikro biobakteri memiliki nilai kepadatan kering paling besar.

**G. Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural dengan Tanah Natural + 6% Kapur, Tanah Natural + 10% *Fly Ash* dan Tanah Natural + 7% Mikro Biobakteri**

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri-volumetri dan uji Proctor standar dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri.



**Gambar 4.86** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

**a) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.86A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Tampak bahwa untuk kadar air yang sama (misal 25 %) tanah natural memiliki angka pori sebesar 1.084 setelah distabilisasi dengan 10% *fly ash* berkurang menjadi 1.023, distabilisasi dengan 7% mikro biobakteri berkurang menjadi 1.014, dan distabilisasi dengan 6% kapur berkurang menjadi 0.964. Perubahan nilai tersebut menunjukkan angka pori tanah yang telah distabilisasi cenderung lebih kecil dibandingkan tanah natural, yang diakibatkan oleh berat butiran solid yang meningkat.

Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori berarti rongga pada tanah berkurang maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, dan sebaliknya. Hal ini berarti bahwa benda uji yang distabilisasi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan benda uji natural. Pada kasus ini kepadatan yang paling tinggi terdapat pada benda uji yang distabilisasi dengan mikro biobakteri.

**b) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.86B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Dalam gambar 4.5B ditunjukkan bahwa untuk tegangan air pori negatif yang sama, angka pori tanah natural lebih besar dibanding dengan angka pori tanah yang distabilisasi. Peristiwa hidrasi mengakibatkan berkurangnya berat air dan bertambahnya berat dan volume butiran solidnya. Agar tegangan air pori negatif tetap atau dengan kata lain ketinggian air sama, maka peningkatan volume butiran solid harus diimbangi dengan pengurangan volume pori, yang akan

mengakibatkan mengecilnya angka pori. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan sifat-sifat fisik tanah juga dipengaruhi tegangan air pori negatif.

**c) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.86C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kadar air dengan derajat kejenuhan berbanding lurus, yaitu semakin besar kadar air semakin meningkat derajat kejenuhannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa, sebagai contoh untuk kadar air sebesar  $\pm 25\%$ , tanah natural memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 61.722\%$ , tanah natural + 6% kapur memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 72.254\%$ , tanah natural + 10% *fly ash* memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 67.815\%$ , dan tanah natural + 7% mikro biobakteri memiliki derajat kejenuhan sebesar  $\pm 68.724\%$ . Dari contoh tersebut menunjukkan bahwa tanah natural yang telah distabilisasi, derajat kejenuhannya meningkat. Hal ini disebabkan oleh menurunnya volume pori, karena volume pori dan volume air merupakan rasio dari derajat kejenuhan ( $S_r = V_w/V_v$ ).

**d) Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.86D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin besar tegangan air pori negatif semakin menurun derajat kejenuhannya. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa, sebagai contoh untuk derajat kejenuhan sebesar 70%, tanah natural memiliki tegangan air pori negatif sebesar 1198.553 kPa, tanah natural + 6% kapur memiliki

tegangan air pori negatif sebesar 15476.880 kPa, tanah natural + 10% *fly ash* memiliki tegangan air pori negatif sebesar 7400.714 kPa, dan tanah natural + 7% mikro biobakteri memiliki tegangan air pori negatif sebesar 35010.337 kPa. Dari contoh tersebut menunjukkan bahwa tanah natural yang telah distabilisasi tegangan air pori negatifnya meningkat. Hal ini disebabkan oleh penambahan bahan stabilisasi yang mengakibatkan bertambahnya butiran solid dan berkurangnya volume pori sehingga terjadi penurunan kadar air akibat adanya hidrasi.

**e) Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.86E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tanah natural + 7 % mikro biobakteri memiliki kepadatan kering maksimum yang paling tinggi yaitu ( $13.83 \text{ kN/m}^3$ ) dibandingkan dengan tanah natural + 10 % *fly ash* ( $13.7 \text{ kN/m}^3$ ), tanah natural + 6 % kapur ( $13.65 \text{ kN/m}^3$ ), dan tanah natural ( $13.45 \text{ kN/m}^3$ ). Hal ini menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan bahan tambah mikro biobakteri, kapur, maupun *fly ash* dapat meningkatkan kepadatan tanah tanggul sungai Bengawan Solo. Peningkatan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) pada tanah yang telah distabilisasi disebabkan berat dan volume butiran solid ( $W_s$  dan  $V_s$ ) bertambah dan volume pori berkurang sehingga volume total pun berkurang. Dengan demikian, karena definisi kepadatan kering adalah ( $\gamma_d = W_s/V$ ), bertambahnya berat butiran solid dan menurunnya volume total menyebabkan meningkatnya kepadatan kering.

Perubahan lain yang terjadi yaitu pada kadar air optimum tanah natural + 7 % mikro biobakteri ( $\omega_{\text{copt}} = 29 \%$ ), tanah natural + 6 % kapur ( $\omega_{\text{copt}} = 27 \%$ ), tanah natural + 10 % *fly ash* ( $\omega_{\text{copt}} = 25 \%$ ), tanah natural ( $\omega_{\text{copt}} = 26 \%$ ). Pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri dan tanah natural + 6 % kapur untuk mencapai kepadatan kering maksimum memerlukan air yang lebih banyak dibandingkan dengan tanah natural. Pada tanah natural + 10 % *fly*



*ash* air yang diperlukan untuk mencapai kepadatan kering maksimum lebih sedikit dibandingkan dengan tanah natural.

**f) Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.86F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Kurva tersebut menunjukkan bahwa titik optimum pada tanah natural + 7 % mikro biobakteri memiliki tegangan air pori negatif yang paling tinggi (26191.88 kPa) dibandingkan dengan tanah natural + 10 % *fly ash* (8400.382 kPa), tanah natural + 6 % kapur (12094.587 kPa) , dan tanah natural (2217.531 kPa).

Besarnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) akan bertambah jika kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) semakin naik. Hal ini disebabkan karena jika tanah yang memiliki kepadatan kering yang tinggi kadar air pada kertas filter Whatman akan semakin mengecil karena air yang terserap lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang memiliki kepadatan yang kecil. Semakin kecil kadar air kertas whatman maka semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

Kurva tersebut menunjukkan juga kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi meningkat dibandingkan tanah natural. Kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) adalah perbandingan antara berat butiran solid dengan volume total ( $\gamma_d = W_s/V$ ). Peningkatan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) disebabkan karena dengan adanya stabilisasi pada tanah menyebabkan berat dan volume butiran solid ( $W_s$  dan  $V_s$ ) bertambah dan volume porinya berkurang. Maka penambahan berat butiran solid dan pengurangan volume pori, yang berarti pengurangan volume totalnya menyebabkan meningkatnya kepadatan kering.

## H. Hasil Pengujian Triaksial

Berikut adalah hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* dari tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri yang dapat dilihat pada tabel 4.56.

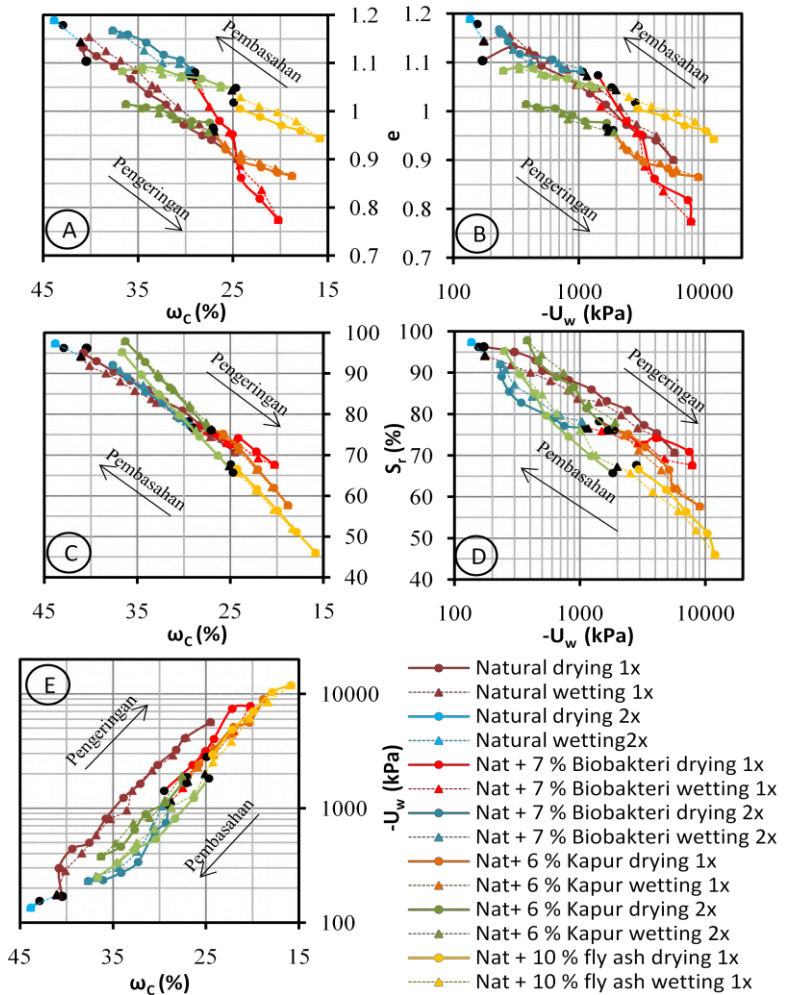
**Tabel 4.56** Hasil pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi

Parameter	Jenis Tanah			
	natural	natural + 6% kapur	natural + 10% <i>fly ash</i>	natural + 7% mikro biobakteri
$\phi$ (°)	4.3	1.8	2.7	2.6
c (kN/m <sup>2</sup> )	55.6	589	123	221.1
E <sub>1</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	3970.8	117712	12875.7	23025.5
E <sub>2</sub> (kNm <sup>2</sup> )	3810.86	118349.4	13175	15660.63

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### 4.5.4.3 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ), uji *unconfined compression strength* ( $C_u$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah yang distabilisasi dari siklus pengeringan-pembasaan pada siklus pertama dan kedua.



**Gambar 4.87** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.87A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut menunjukkan adanya stabilisasi menggunakan bahan – bahan di atas yang dipengaruhi proses pengeringan dan pembasahan mengalami perubahan nilai angka pori. Tabel 4.57 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi dibandingkan nilai angka pori tanah natural.

**Tabel 4.57** Persentase perubahan nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
e	-2.279	6.251	7.238

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan parameter angka pori komposisi tanah natural + 6 % kapur paling baik dibandingkan komposisi campuran yang lain karena tanah natural + 6 % kapur mengalami penurunan nilai angka pori paling besar, berarti ruang porinya makin kecil.

### B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.87B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif berubah dari natural. Tabel 4.58

memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan natural.

**Tabel 4.58** Persentase perubahan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
e	-2.279	6.251	7.238
$-U_w$ (kpa)	-55.893	-67.077	-65.279

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.58 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan angka pori paling besar. Penurunan nilai angka pori yang besar berarti menurunkan ruang pori yang besar sehingga tanah menjadi rapat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter angka pori dan tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

### C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.87C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi

menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai derajat kejenuhan berubah dari natural. Tabel 4.59 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan nilai angka pori tanah natural.

**Tabel 4.59** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r$ (%)	8.336	0.704	1.967

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.59 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.87D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan berubah dari natural. Tabel 4.60 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai tegangan air

pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.60** Persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55.893	-67.077	-65.279
Sr (%)	8.336	0.704	1.967

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.60 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain. Komposisi tanah + 6 % kapur juga merupakan komposisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.87E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (*suction*) dengan kadar air pada tanah natural + 6% kapur, tanah

natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai tegangan air pori negatif berubah dari natural. Tabel 4.61 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.61** Persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55.893	-67.077	-65.279

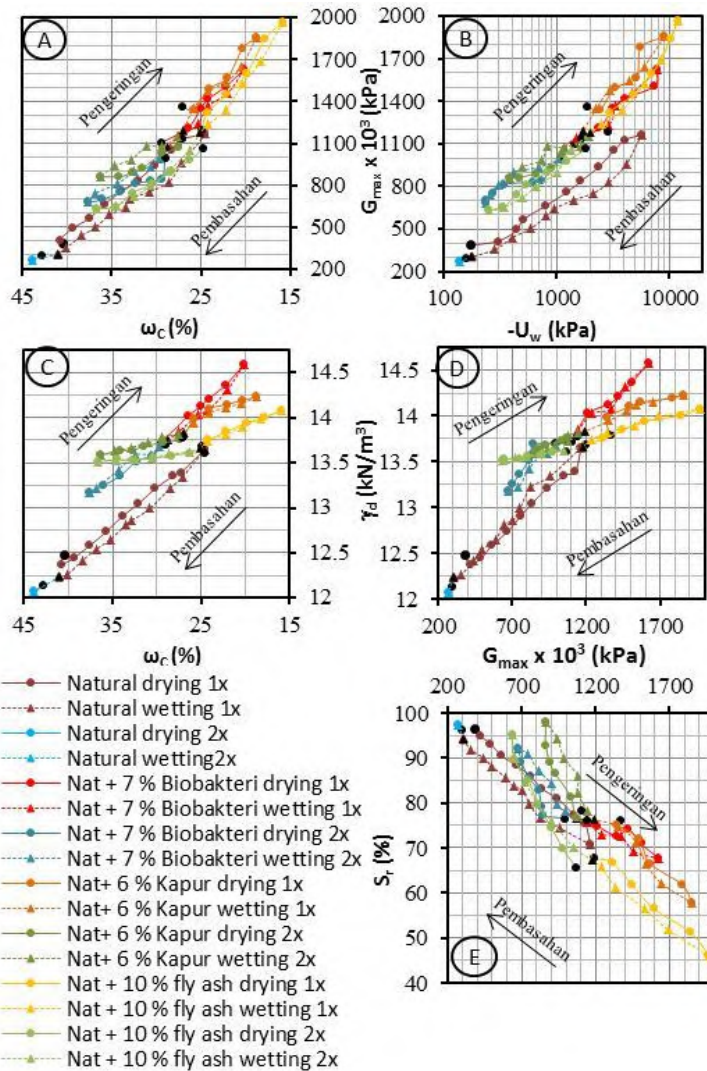
Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.61 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.





**Gambar 4.88** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ )

Gambar 4.88A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.62 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.62** Rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$G_{\max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.62 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ )

Gambar 4.88B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif

dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.63 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.63** Persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55.893	-67.077	-65.279
$G_{max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.63 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter modulus geser maksimum dan tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

## H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.88C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai kepadatan kering berubah dari natural. Tabel 4.64 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.64** Persentase perubahan nilai kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	4.887	3.694	4.372

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.64 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan kepadatan kering paling besar. Hal ini menggambarkan struktur tanah yang paling rapat. Jadi, berdasarkan parameter kepadatan kering komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

## I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.88D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut

memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.65 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.65** Persentase perubahan nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	4.887	3.694	4.372
$G_{max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.65 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan kepadatan kering paling besar. Hal ini menggambarkan struktur tanah yang paling rapat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter kepadatan kering dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.88E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash*

dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.66 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.66** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

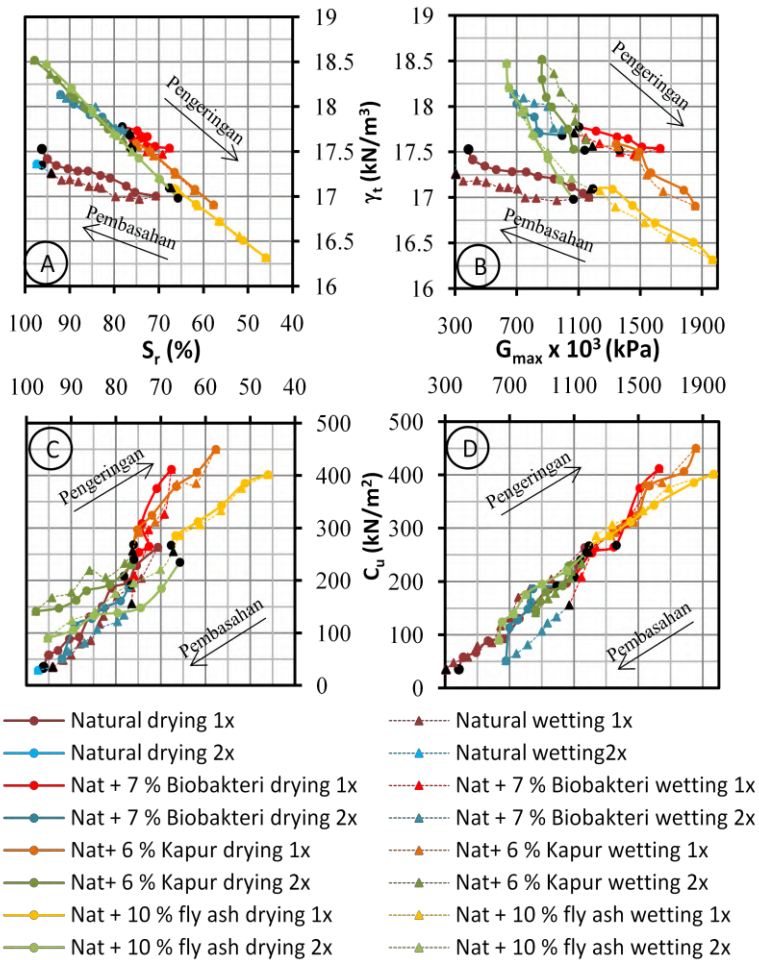
Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r$ (%)	8.336	0.704	1.967
$G_{max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.66 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.



**Gambar 4.89** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.89A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah berubah dari natural. Tabel 4.67 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.67** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	5.385	3.720	4.636
$S_r$ (%)	8.336	0.704	1.967

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.67 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan berat volume tanah paling besar. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter berat volume tanah dan derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur



adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.89B adalah kurva hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.68 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.68** Persentase perubahan nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	5.385	3.720	4.636
$G_{\max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.68 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan berat volume tanah paling besar. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan modulus geser

maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.89C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai derajat kejenuhan dan kohesi berubah dari natural. Tabel 4.69 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan kohesi pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.69** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan kohesi pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r$ (%)	8.336	0.704	1.967
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	30.879	4.209	-1.629

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.69 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan kohesi paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan tarik menarik

antar partikel tanah yang kuat. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan kohesi komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.89D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan dan pembasahan nilai kohesi dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.70 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.70** Persentase perubahan nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	30.879	4.209	-1.629
$G_{max}$ (kpa)	29.340	5.407	20.060

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

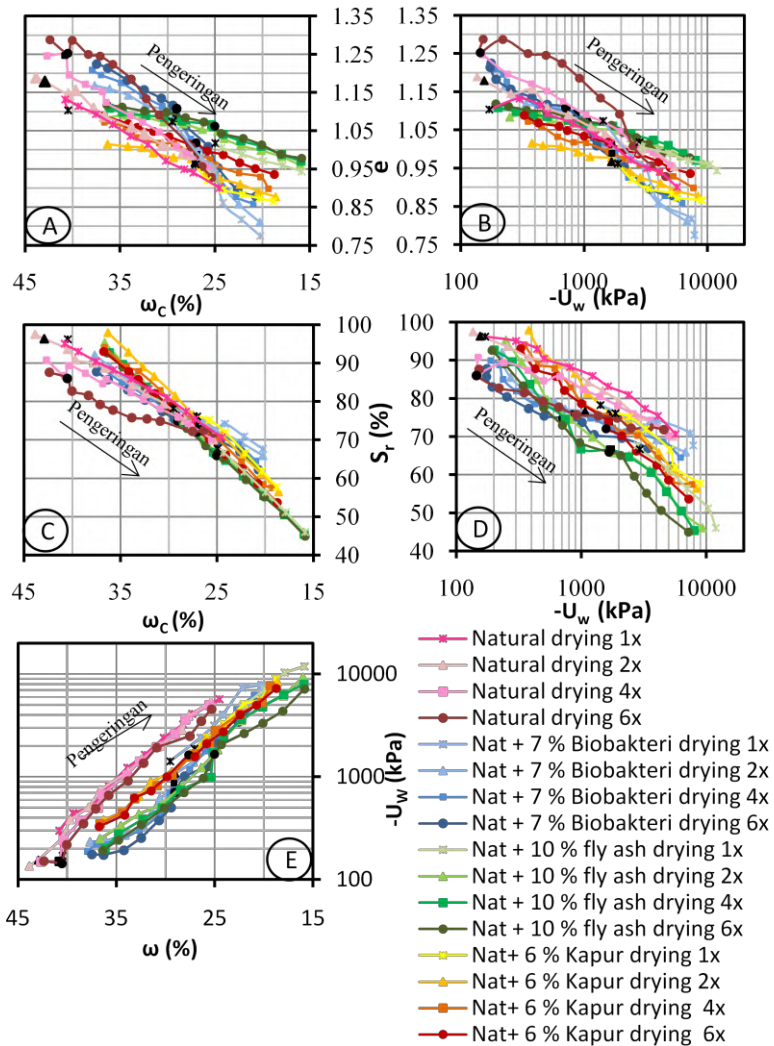
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.70 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan kohesi paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan tarik menarik

antar partikel tanah yang kuat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter kohesi dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **4.5.4.4 Analisa Terhadap Benda Uji Yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang**

Seiring penambahan proses pengeringan berulang yang diterapkan pada suatu tanah, tentu mempengaruhi nilai parameter-parameter tanah. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh proses pengeringan berulang terhadap sifat fisik, mekanik, dan dinamik akan diperlihatkan pada gambar 4.90, 4.91, dan 4.92. Lebih spesifik gambar tersebut adalah grafik hubungan antara sifat fisik ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), mekanik ( $C_u$ ,  $-U_w$ ), dan dinamik ( $G_{max}$ ) tanah natural dan tanah yang distabilisasi dari proses pengeringan berulang.



**Gambar 4.90** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### A. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.90A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai angka pori berubah dari natural. Tabel 4.71 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi dibandingkan nilai angka pori tanah natural.

**Tabel 4.71** Persentase perubahan nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
e	-2,087	4,739	5,863

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.71 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase penurunan angka pori paling besar. Penurunan nilai angka pori yang besar berarti menurunkan ruang pori yang besar sehingga tanah menjadi rapat. Jadi, berdasarkan parameter angka pori komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

### B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.90B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva

tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai angka pori dan tegangan air pori negatif berubah dari natural. Tabel 4.72 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan natural.

**Tabel 4.72** Persentase perubahan nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
e	-2,087	4,739	5,863
$-U_w$ (kpa)	-55,800	-69,389	-69,120

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.72 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan angka pori paling besar. Penurunan nilai angka pori yang besar berarti menurunkan ruang pori yang besar sehingga tanah menjadi rapat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter angka pori dan tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

### C. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.90C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan berubah dari natural. Tabel 4.73 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan nilai angka pori tanah natural.

**Tabel 4.73** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r$ (%)	7,977	1,932	3,027

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.73 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

### D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.90B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural, tanah



natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri akibat proses pengeringan berulang. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan berubah dari natural. Tabel 4.74 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan natural.

**Tabel 4.74** Persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55,800	-69,389	-69,120
$S_r$ (%)	7,977	1,932	3,027

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.74 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Sedangkan untuk nilai derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter tegangan air pori negatif dan derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

### E. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )

Gambar 4.90E adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (suction) dengan kadar air pada tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri pada siklus berulang. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif berubah dari natural. Tabel 4.75 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.75** Persentase perubahan nilai tegangan air pori negatif pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

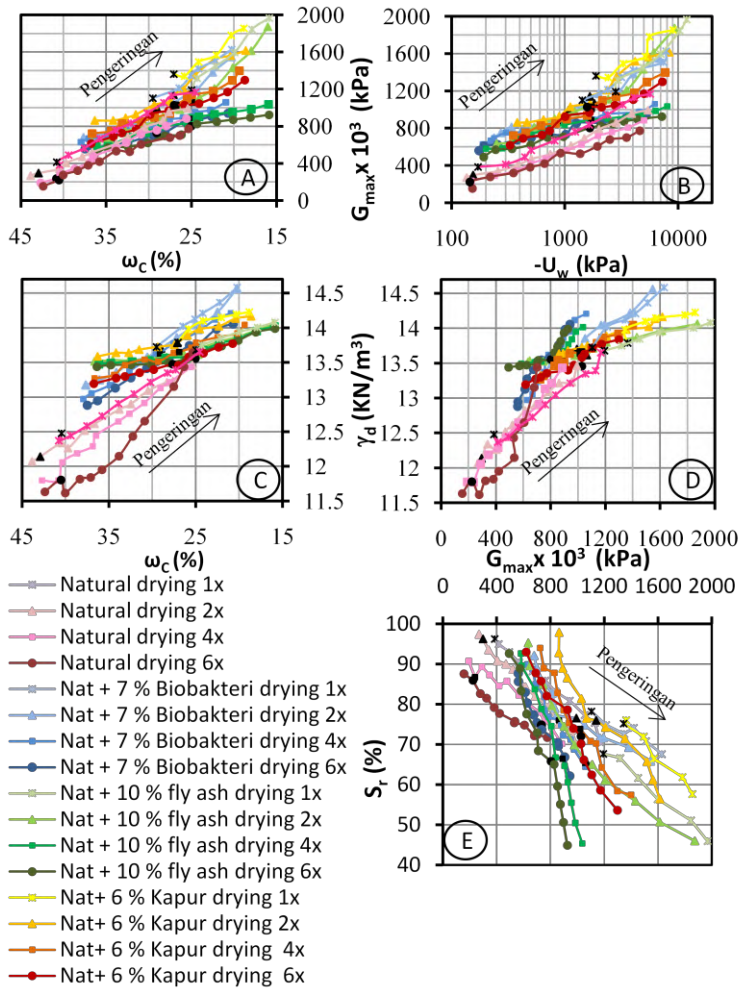
Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55,800	-69,389	-69,120

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.75 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.



**Gambar 4.91** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### F. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.91A adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.76 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.76** Rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$G_{max}$ (kpa)	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.76 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### G. Hubungan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.91B adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.77 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.77** Persentase perubahan nilai modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$-U_w$ (kpa)	-55,800	-69,389	-69,120
$G_{max}$ (kpa)	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.77 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase penurunan tegangan air pori negatif paling kecil. Karena seharusnya nilai tegangan air pori negatif untuk tanah yang lebih baik adalah nilai tegangan air pori negatif yang semakin meningkat. Jadi, berdasarkan parameter modulus geser maksimum dan tegangan air pori negatif komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

## H. Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.91C memperlihatkan kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai kepadatan kering berubah dari natural. Tabel 4.78 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.78** Persentase perubahan nilai kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	4,738	4,506	4,625

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.78 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan kepadatan kering paling besar. Hal ini menggambarkan struktur tanah yang paling rapat. Jadi, berdasarkan parameter kepadatan kering komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

## I. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.87D memperlihatkan kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut

memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.79 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.79** Persentase perubahan nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	4,738	4,506	4,625
$G_{max}$ (kpa)	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.79 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan kepadatan kering paling besar. Hal ini menggambarkan struktur tanah yang paling rapat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter kepadatan kering dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.91E memperlihatkan kurva hubungan antara derajat kejuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash*

dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.80 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.80** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r(\%)$	7,977	1,932	3,027
$G_{\max}(\text{kpa})$	30,551	6,005	18,869

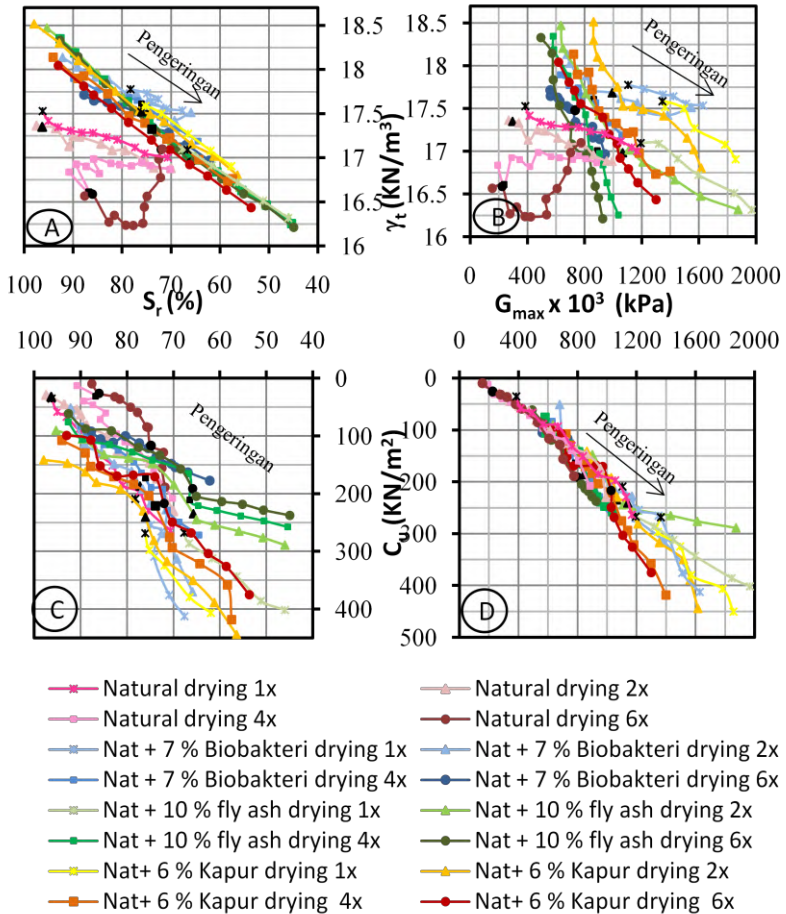
Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.80 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.





**Gambar 4.92** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

### K. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.92A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah berubah dari natural. Tabel 4.81 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.81** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	5,209	4,437	4,919
$S_r$ (%)	7,977	1,932	3,027

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.81 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan berat volume tanah paling besar. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Jadi, berdasarkan parameter berat volume tanah dan derajat kejenuhan komposisi tanah + 6 % kapur

adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )

Gambar 4.92B adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.82 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.82** Persentase perubahan nilai berat volume tanah dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	5,209	4,437	4,919
$G_{\max}$ (kpa)	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.82 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase kenaikan berat volume tanah paling besar. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan modulus geser

maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### M. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi ( $C_u$ )

Gambar 4.92C adalah kurva pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kohesi ( $C_u$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai derajat kejenuhan dan kohesi berubah dari natural. Tabel 4.83 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan kohesi pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.83** Persentase perubahan nilai derajat kejenuhan dan kohesi pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$S_r$ (%)	7,977	1,932	3,027
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35,110	4,051	10,284

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.83 komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan derajat kejenuhan paling besar. Hal ini menggambarkan perbandingan antara volume air dan volume pori yang besar yang berarti volume porinya kecil. Komposisi tanah + 6 % kapur adalah kompoisisi tanah yang mengalami persentase peningkatan kohesi paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan tarik menarik

antar partikel tanah yang kuat. Jadi, berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan kohesi komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### N. Hubungan Antara Nilai Modulus Geser ( $G_{\max}$ ) dengan Kohesi ( $C_U$ )

Gambar 4.92D adalah kurva pengaruh proses pengeringan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural, tanah natural + 6% kapur, tanah natural + 10% *fly ash* dan tanah natural + 7% mikro biobakteri. Kurva tersebut memperlihatkan adanya stabilisasi menggunakan bahan-bahan diatas yang dipengaruhi oleh proses pengeringan berulang nilai kohesi dan modulus geser maksimum berubah dari natural. Tabel 4.84 memperlihatkan rata-rata persentase perubahan nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

**Tabel 4.84** Persentase perubahan nilai kohesi dan modulus geser maksimum pada tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$C_U$ (kN/m <sup>2</sup> )	35,110	4,051	10,284
$G_{\max}$ (kpa)	30,551	6,005	18,869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan tabel 4.84 komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang mengalami persentase peningkatan kohesi paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan tarik menarik antar partikel tanah yang kuat. Komposisi tanah + 6 % kapur juga adalah komposisi tanah yang mengalami persentase kenaikan

modulus geser maksimum paling besar. Hal ini menggambarkan kemampuan yang besar untuk menahan beban dinamik. Jadi, berdasarkan parameter kohesi dan modulus geser maksimum komposisi tanah + 6 % kapur adalah komposisi tanah yang paling baik dibandingkan komposisi tanah yang lain.

#### **4.6 Hasil Rekapitulasi**

Berikut adalah tabel rekapitulasi persentase perubahan sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah.

##### **4.6.1 Rekapitulasi Perubahan Nilai Sifat Fisik, Mekanik, dan Dinamik Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus 1x dan 2x**

Tanah natural dan tanah yang distabilisasi yang mengalami proses pengeringan dan pembasahan tentu akan mengalami perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik. Tabel 4.85 memperlihatkan perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah yang distabilisasi akibat siklus pengeringa-pembasahan 1x dan 2x.

**Tabel 4.85** Persentase perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik benda uji akibat mengalami proses pengeringan dan pembasahan siklus 1x dan 2x

Parameter Tanah	Akibat Proses	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)			
		Natural	Tanah Natural Ditambah		
			6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ kN/m <sup>3</sup>	<i>drying</i>	-2.847	-4.435	-6.322	-1.919
	<i>wetting</i>	-0.495	4.653	6.413	1.691
$\gamma_d$ kN/m <sup>3</sup>	<i>drying</i>	10.163	2.333	1.830	5.144
	<i>wetting</i>	-0.788	-2.292	-2.022	-4.959
$S_r$ %	<i>drying</i>	-26.927	-23.250	-31.528	-15.193
	<i>wetting</i>	1.732	30.264	43.899	16.744
e	<i>drying</i>	-18.766	-7.378	-5.233	-17.640
	<i>wetting</i>	3.729	8.288	7.182	23.639
$-U_w$ kPa	<i>drying</i>	3312.321	359.840	477.191	406.809
	<i>wetting</i>	137.735	-79.416	-85.368	-82.609
$C_u$ kN/m <sup>2</sup>	<i>drying</i>	628.737	69.023	105.310	186.118
	<i>wetting</i>	16.880	-43.967	-50.571	-64.634
$G_{max}$ kPa	<i>drying</i>	218.590	34.106	66.510	46.972
	<i>wetting</i>	2.010	-31.685	-43.151	-35.432

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

Tabel 4.86 memperlihatkan perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah yang distabilisasi pada proses pengeringan pada siklus 1x dan 2x, ditinjau

persentase penurunan atau kenaikan dari kondisi awal sampai kondisi akhir di siklus *wetting* 2x.

**Tabel 4.86** Persentase perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik benda uji yang mengalami proses pengeringan dan pembasahan siklus 1x dan 2x

Parameter	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)			
	Tanah Natural	Tanah dicampur		
		6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	-1.030	0.006	-0.686	-0.528
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	-2.734	-0.035	-0.480	-0.156
$S_r$ (%)	0.051	-0.080	-2.944	-2.112
$e$	6.796	0.473	3.022	0.662
$-U_w$ (kpa)	-8.955	-11.109	-35.097	-24.543
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	-7.344	-10.333	-12.069	-7.897
$G_{max}$ (kpa)	-22.880	-16.392	-10.658	-9.985

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.6.2 Rekapitulasi Perubahan Nilai Sifat Fisik, Mekanik, dan Dinamik Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan Berulang

Tanah natural dan tanah yang distabilisasi yang mengalami proses pengeringan berulang tentu akan mengalami perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik. Tabel 4.87 memperlihatkan persentase penurunan atau kenaikan dari pengeringan 1x sampai pengeringan 6x untuk nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah yang distabilisasi.



**Tabel 4.87** Persentase perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik benda uji yang mengalami proses pengeringan berulang

Parameter	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)			
	Tanah Natural	Tanah Natural Ditambah		
		6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	-4.182	-2.785	-0.687	-2.389
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	-4.052	-2.877	-0.733	-2.809
$S_r$ (%)	-8.880	-6.381	-2.316	-4.755
<b>e</b>	10.669	8.494	3.888	8.529
<b>-U<sub>w</sub> (kpa)</b>	-18.465	-16.273	-44.445	-50.469
<b>C<sub>u</sub> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	-37.216	-18.235	-34.471	-49.680
<b>G<sub>max</sub> (kpa)</b>	-35.318	-28.656	-43.514	-38.597

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

#### 4.6.3 Rekapitulasi Perubahan Nilai Sifat Fisik, Mekanik, dan Dinamik Tanah yang distabilisasi Terhadap Tanah Natural

Dengan adanya penambahan bahas stabilisator yaitu kapur, *fly ash*, dan mikro biobakteri nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah akan mengalami perubahan. Tabel 4.88 memperlihatkan persentase perubahan sifat fisik, mekanik, dan dinamik dari tanah yang distabilisasi pada proses pengeringan-pembasahan siklus 1x, 2x dan pengeringan berulang dibandingkan dengan tanah natural.

**Tabel 4.88** Persentase perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural

Parameter Tanah	Persentase Perubahan Nilai Pada (%)		
	Tanah Natural Ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Biobakteri
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	5.209	4.437	4.919
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	4.738	4.506	4.625
$s_r$ (%)	7.977	1.932	3.027
$e$	-2.087	4.739	5.863
$-U_w$ (kpa)	-55.800	-69.389	-69.120
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	35.110	4.051	10.284
$G_{max}$ (kpa)	30.551	6.005	18.869

Ket. : (-) = turun

(+) = naik

(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

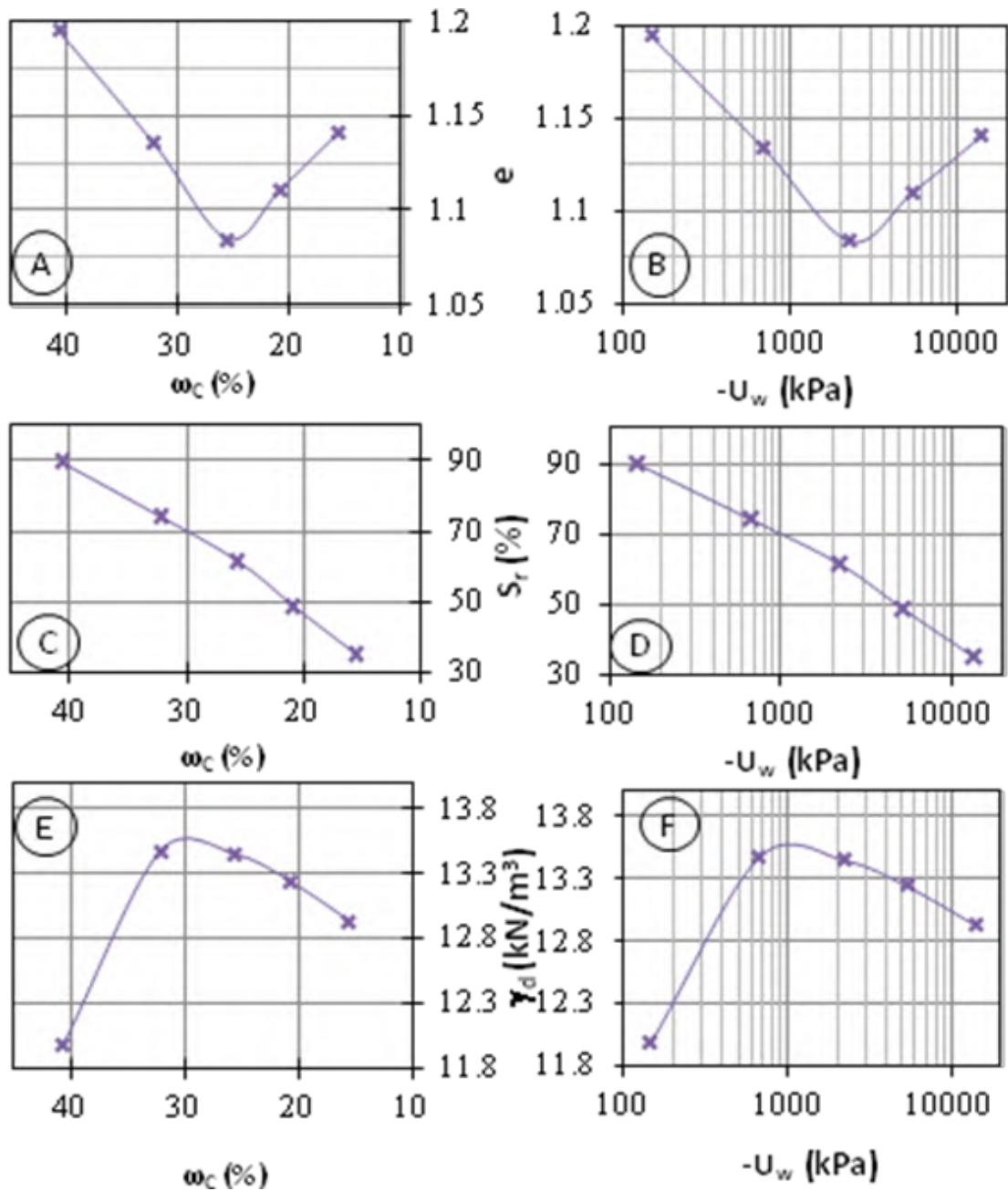
Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan adanya penambahan bahan stabilisator klasifikasi tanah tanggul Sungai Bengawan Solo *cross section* 0+500 Desa Semambung Bojonegoro mengalami peningkatan dari tanah natural yang berdasarkan sistem USCS dan AASHTO masuk ke kelompok CH dan A-7-6 untuk penambahan 6% kapur masuk ke kelompok tanah ML dan A-4, untuk penambahan 10 % *fly ash* masuk ke kelompok tanah CL dan A-6, dan untuk penambahan 7 % mikro biobakteri masuk ke kelompok tanah CL dan A-7-6. Perubahan klasifikasi tanah tersebut disebabkan oleh peningkatan persentase butiran kasar dan penurunan persentase butiran halus.
2. Adanya stabilisasi mempengaruhi nilai batas cair (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (PI). Penambahan 10 % *fly ash* adalah komposisi yang paling menurunkan nilai batas plastis yang paling tinggi. Penambahan 6 % kapur adalah komposisi yang menurunkan nilai batas cair dan indeks plastisitas paling tinggi. Hal ini diduga diakibatkan oleh peningkatan persentase butiran kasar yang paling tinggi dari tanah + 6 % kapur. Penambahan 7 % mikro biobakteri adalah komposisi yang menurunkan nilai batas cair dan indeks plastisitas paling rendah. Hal ini diduga diakibatkan oleh peningkatan persentase butiran kasar yang rendah dari tanah + 7 % mikro biobakteri.
3. Dalam pengujian Proctor standar didapatkan nilai kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Nilai kepadatan kering pada tanah yang distabilisasi mengalami peningkatan dari nilai kepadatan kering tanah natural.

4. Dalam pengujian triaksial (*Unconsolidated Undrained*) nilai parameter kekuatan geser pada tanah natural lebih kecil dibandingkan pada tanah yang distabilisasi. Dimana semakin besar nilai kuat geser pada suatu tanah, maka kemungkinan terjadinya pergeseran akan semakin kecil.
5. Terjadinya proses pengeringan mengakibatkan nilai kadar air ( $\omega$ ), derajat kejenuhan ( $S_r$ ), angka pori ( $e$ ), porositas ( $n$ ), berat volume tanah ( $\gamma_t$ ), dan berat jenis ( $G_s$ ) semakin menurun, sedangkan nilai kepadatan kering ( $\gamma_d$ ), kohesi ( $C_u$ ), modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), dan tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) semakin meningkat dari kondisi inisial. Begitu juga sebaliknya, ketika terjadinya proses pembasahan nilai kadar air ( $\omega$ ), derajat kejenuhan ( $S_r$ ), angka pori ( $e$ ), porositas ( $n$ ), berat volume tanah ( $\gamma_t$ ), dan berat jenis ( $G_s$ ) semakin meningkat, sedangkan nilai kepadatan kering ( $\gamma_d$ ), kohesi ( $C_u$ ), modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), dan tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) semakin menurun dari kondisi inisial.
6. Semakin bertambahnya jumlah siklus nilai kadar air ( $\omega$ ), porositas ( $n$ ), angka pori ( $e$ ), dan berat jenis ( $G_s$ ) semakin meningkat, sedangkan nilai derajat kejenuhan ( $S_r$ ), berat volume tanah ( $\gamma_t$ ), kepadatan kering ( $\gamma_d$ ), kohesi ( $C_u$ ), tegangan air pori negative ( $-U_w$ ) dan modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ) semakin menurun dari kondisi inisial.
7. Dari ketiga bahan stabilisator yaitu kapur, *fly ash*, dan mikro biobakteri, komposisi tanah natural + 6 % kapur dengan pemeraman 7 hari adalah komposisi yang mengalami peningkatan parameter fisik, mekanik, dan dinamik yang paling tinggi. Sehingga komposisi tanah natural + 6% kapur adalah alternatif terbaik yang dapat digunakan pada tanah tanggul sungai Bengawan Solo *cross section* 0+500.

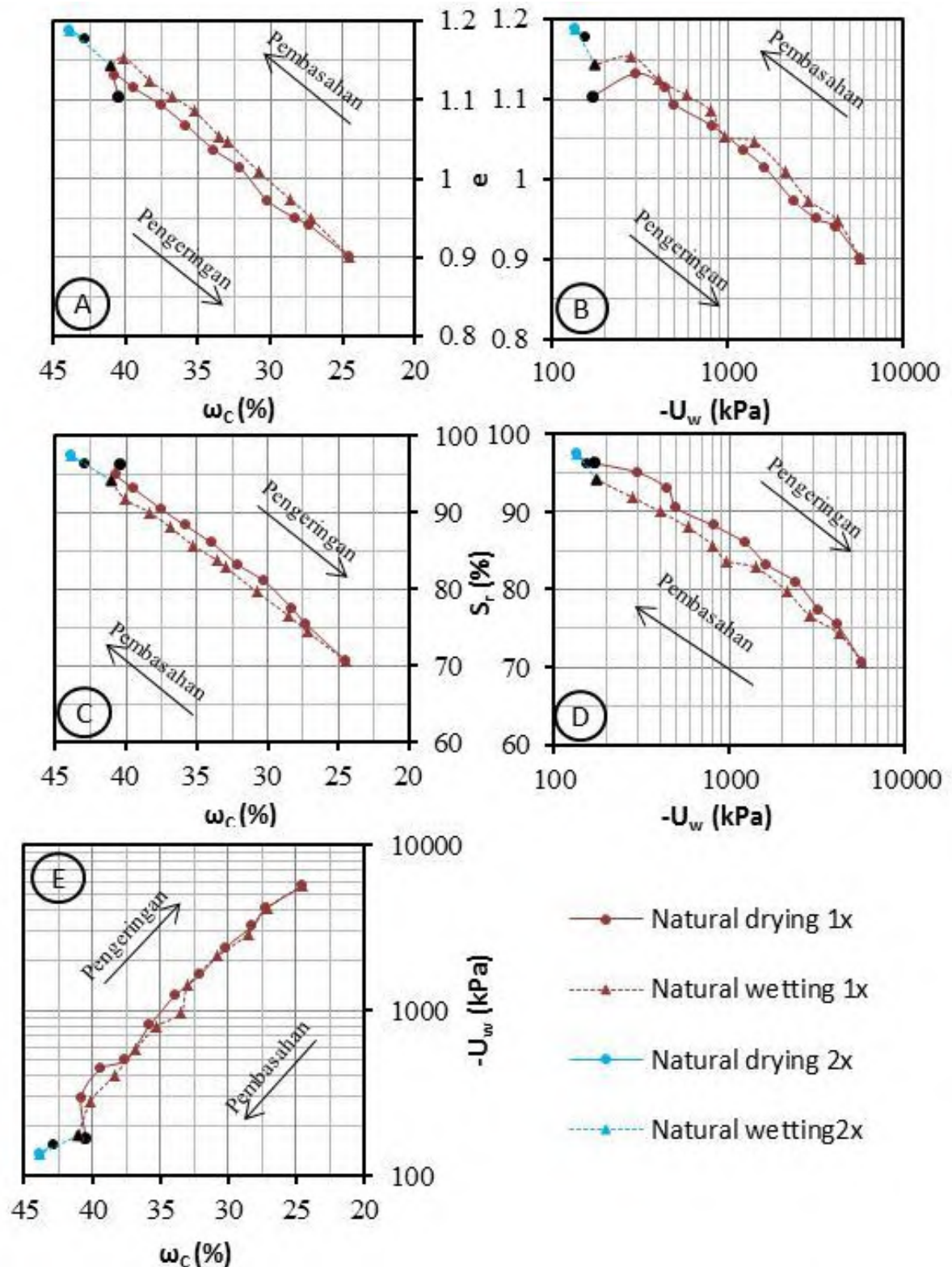
## 5.2 Saran

1. Setelah pengambilan tanah natural (*undisturbed sample*) dari lapangan sebaiknya segera mungkin dilakukan pengujian parameter-parameter tanah di laboratorium agar kondisi tanah tidak berubah akibat faktor suhu yang berbeda.
2. Untuk mempermudah menguji pengkondisian diperlukan pipa PVC yang dibuat sesuai dengan ukuran benda uji.
3. Pada proses pengkondisian pembasahan sebaiknya disimpan didalam desikator.
4. Untuk mengetahui lebih detail penyebab perubahan nilai sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah yang diakibatkan oleh bahan tambah kapur, *fly ash*, dan mikro biobakteri diperlukan uji sifat kimia setiap bahan tersebut.
5. Agar mendapatkan nilai sudut geser dalam tanah yang lebih akurat lebih baik menggunakan pengujian triaksial tipe *consolidated undrained*.

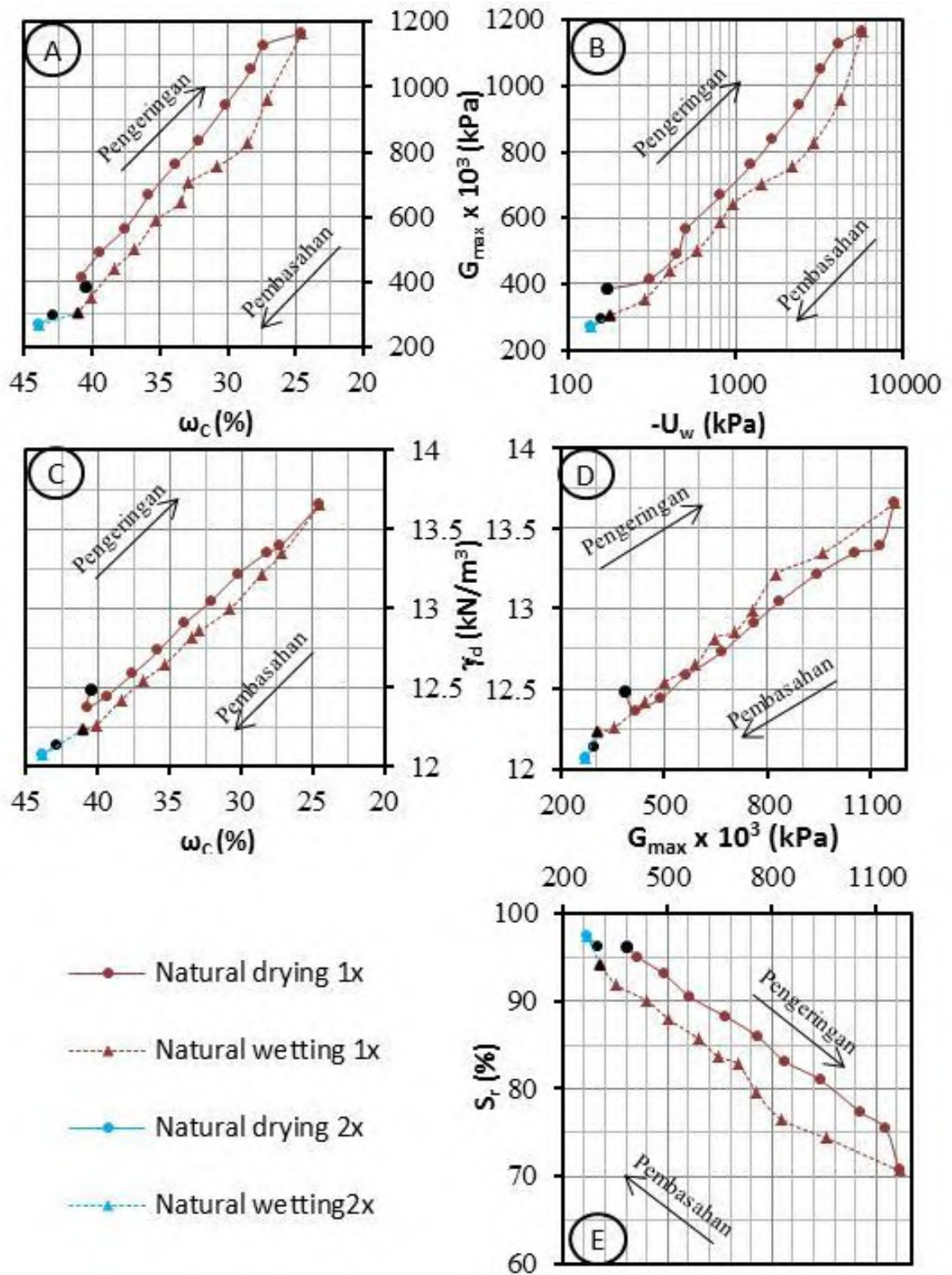


Tanah Natural :  $\gamma_d \text{ maks} = 13.45 \text{ kN/m}^3$   
 $\omega_c \text{ opt} = 26 \%$

**Gambar 4.4** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

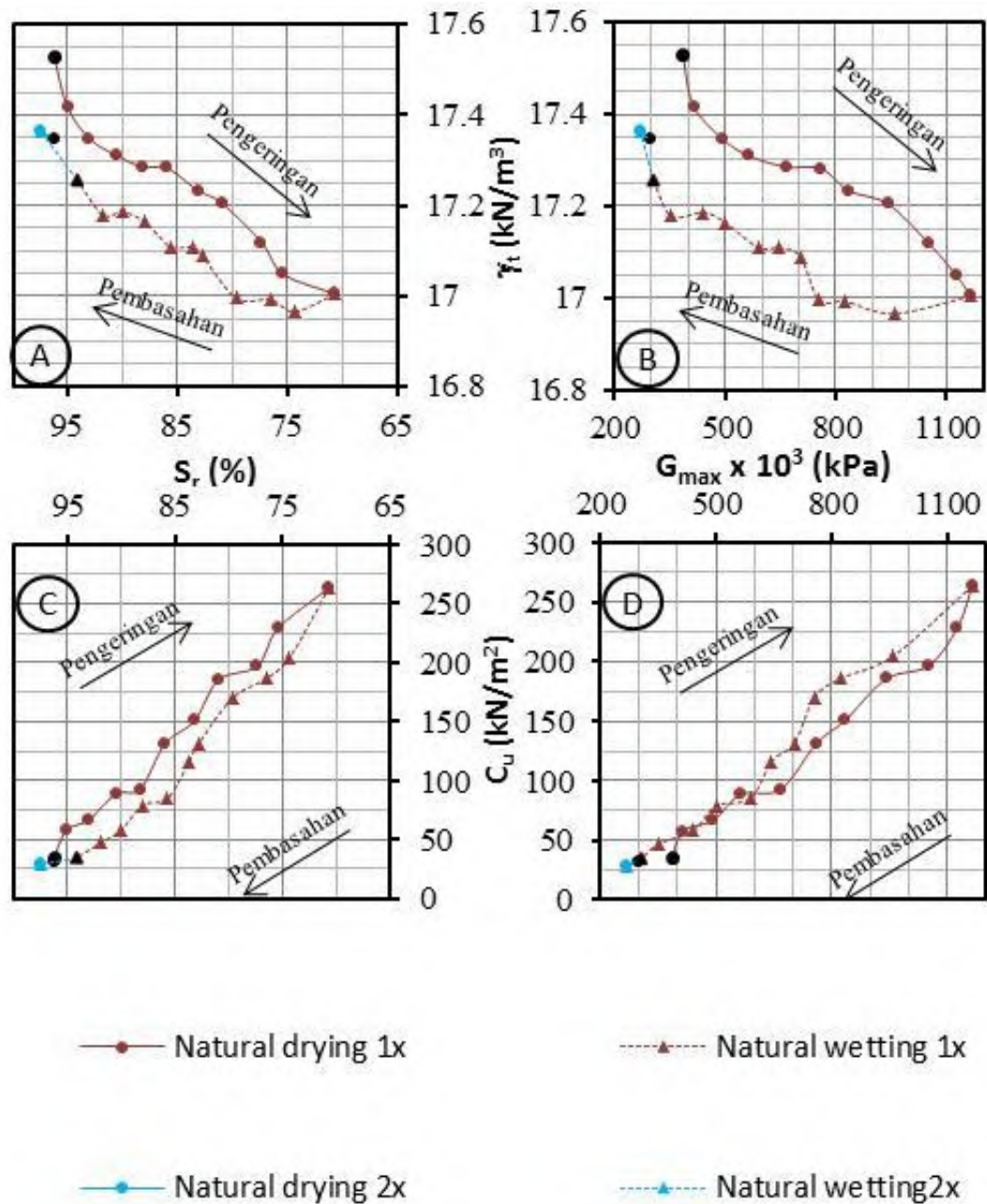


**Gambar 4.7** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

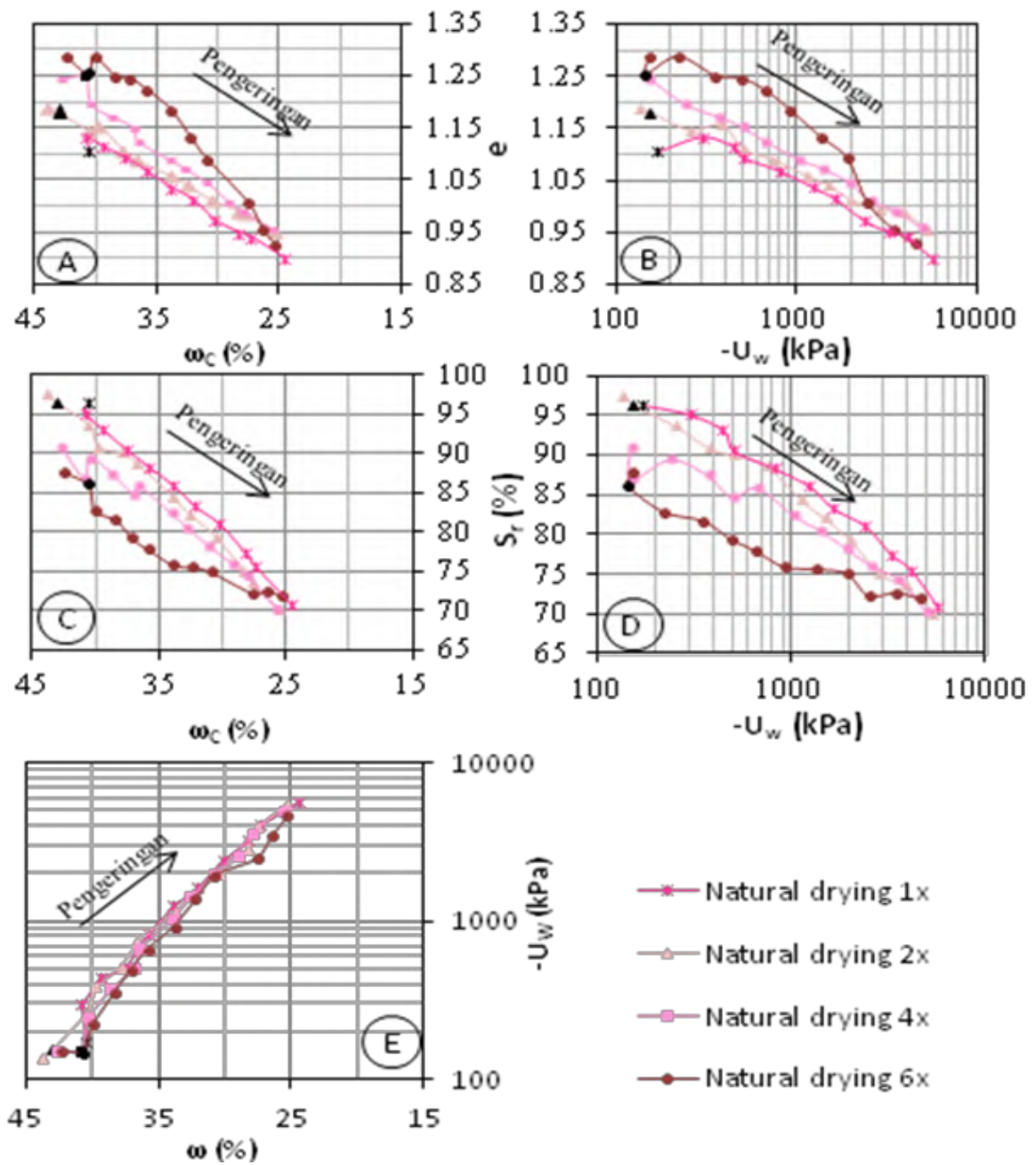


**Gambar 4.8** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

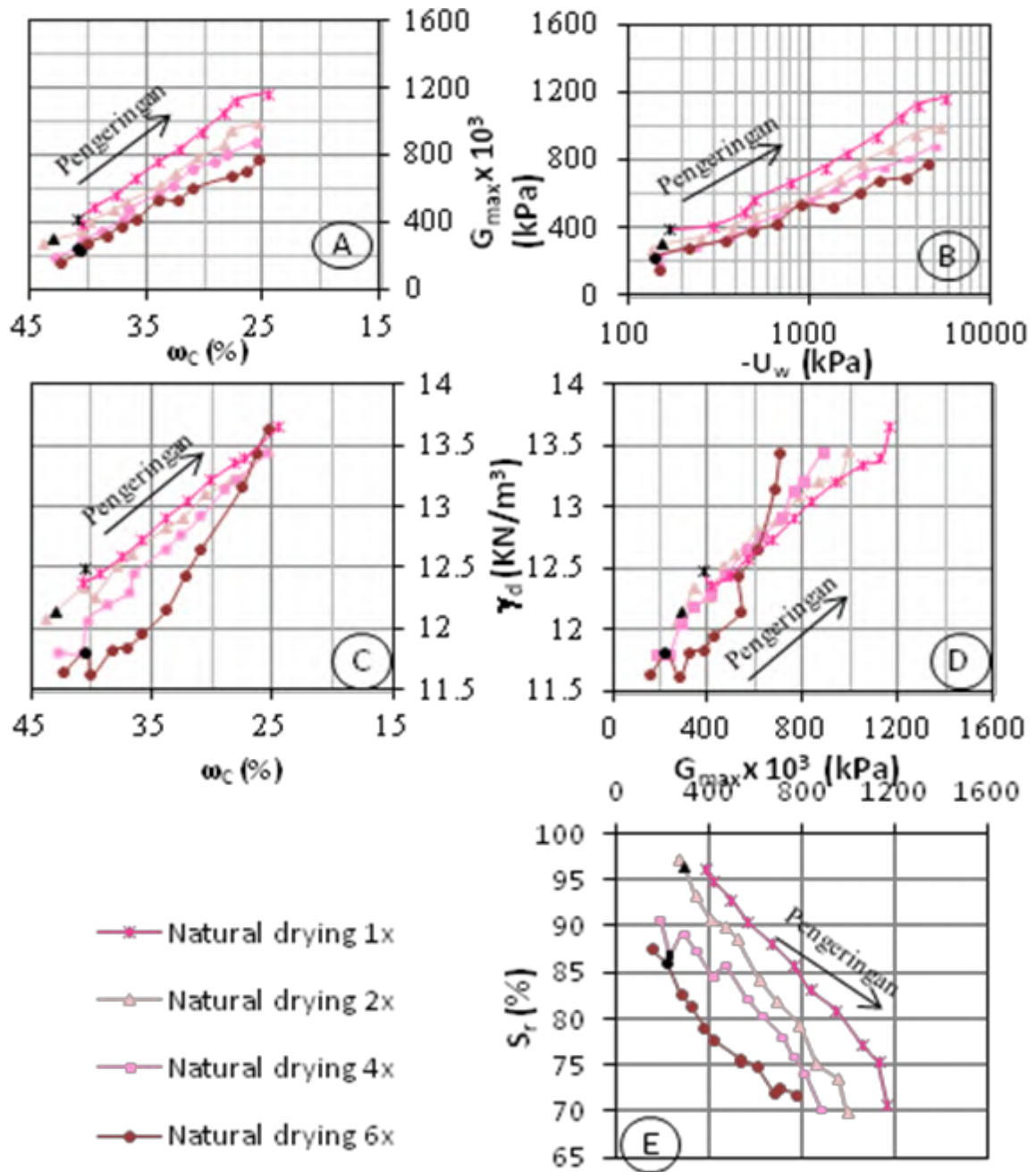




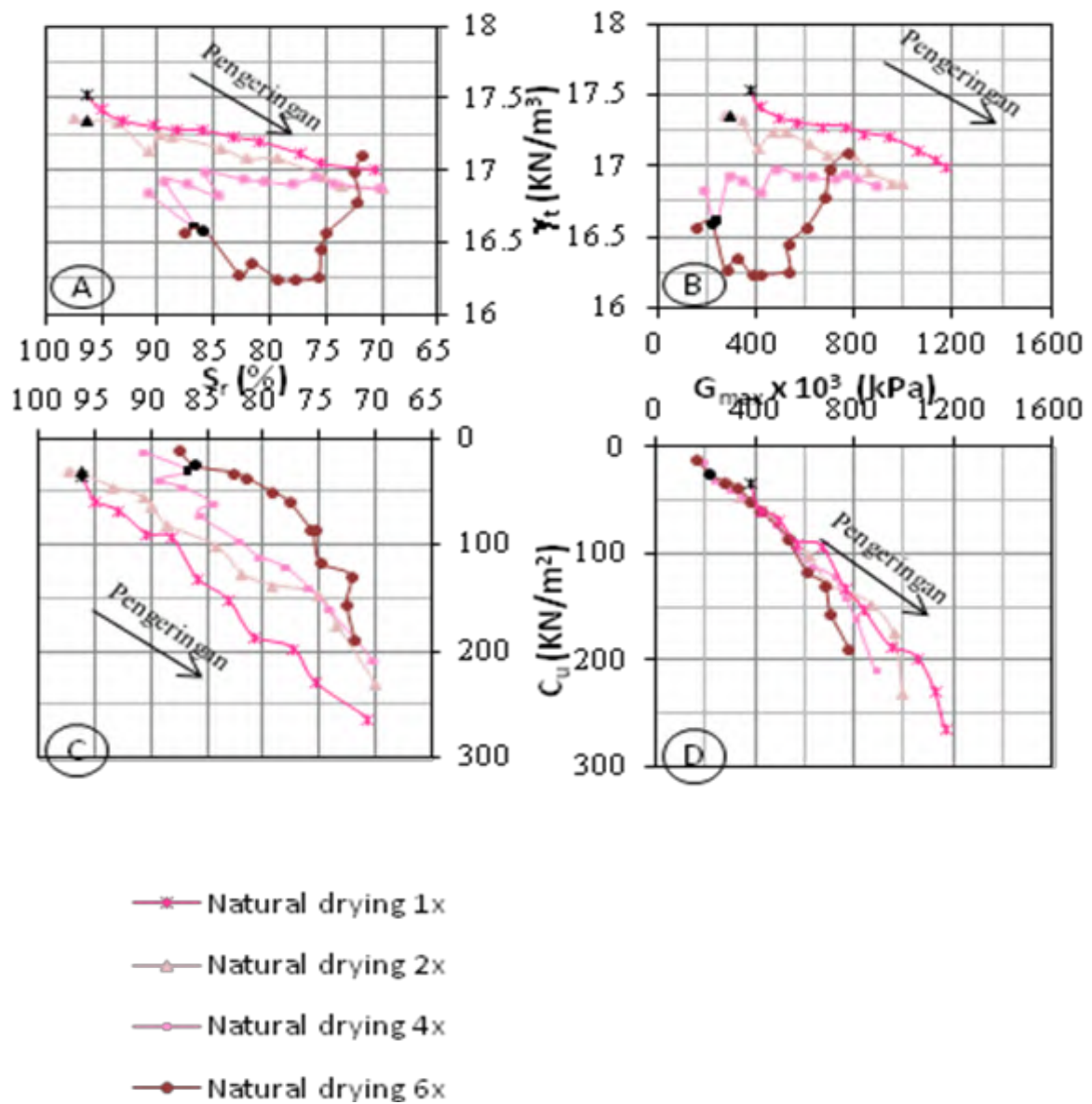
**Gambar 4.9** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



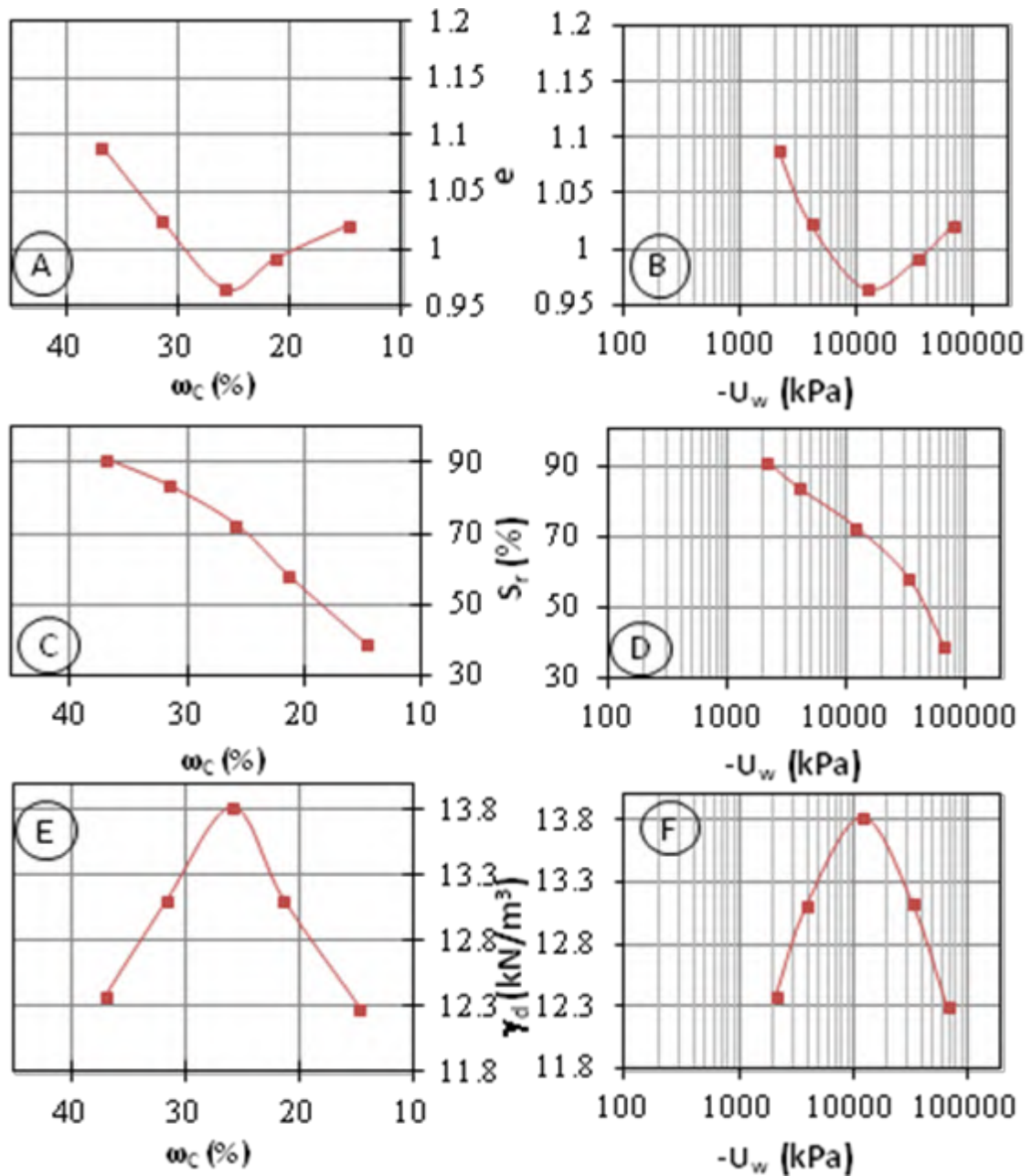
**Gambar 4.10** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural. (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



**Gambar 4.11** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural.  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



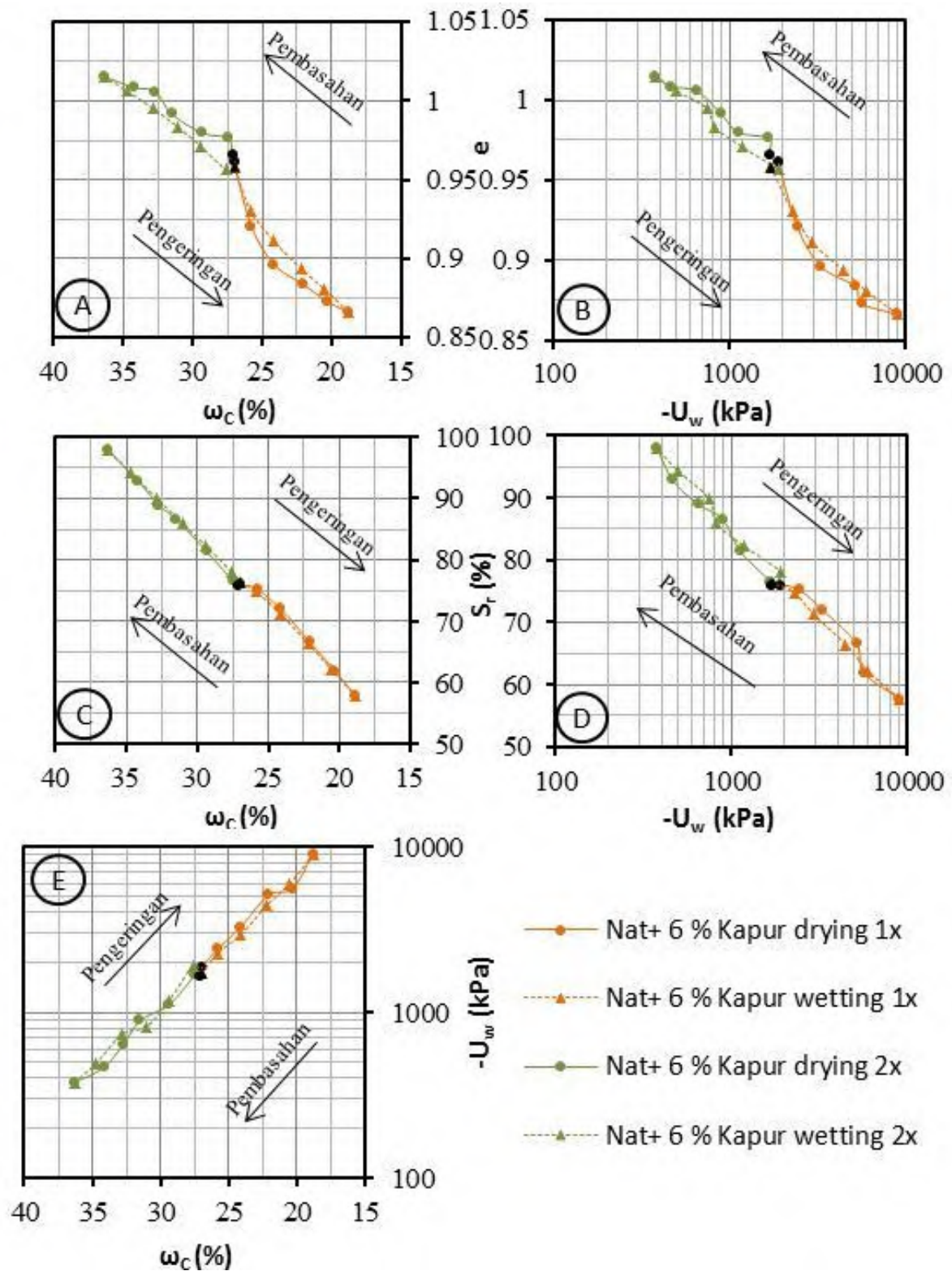
**Gambar 4.12** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural.  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



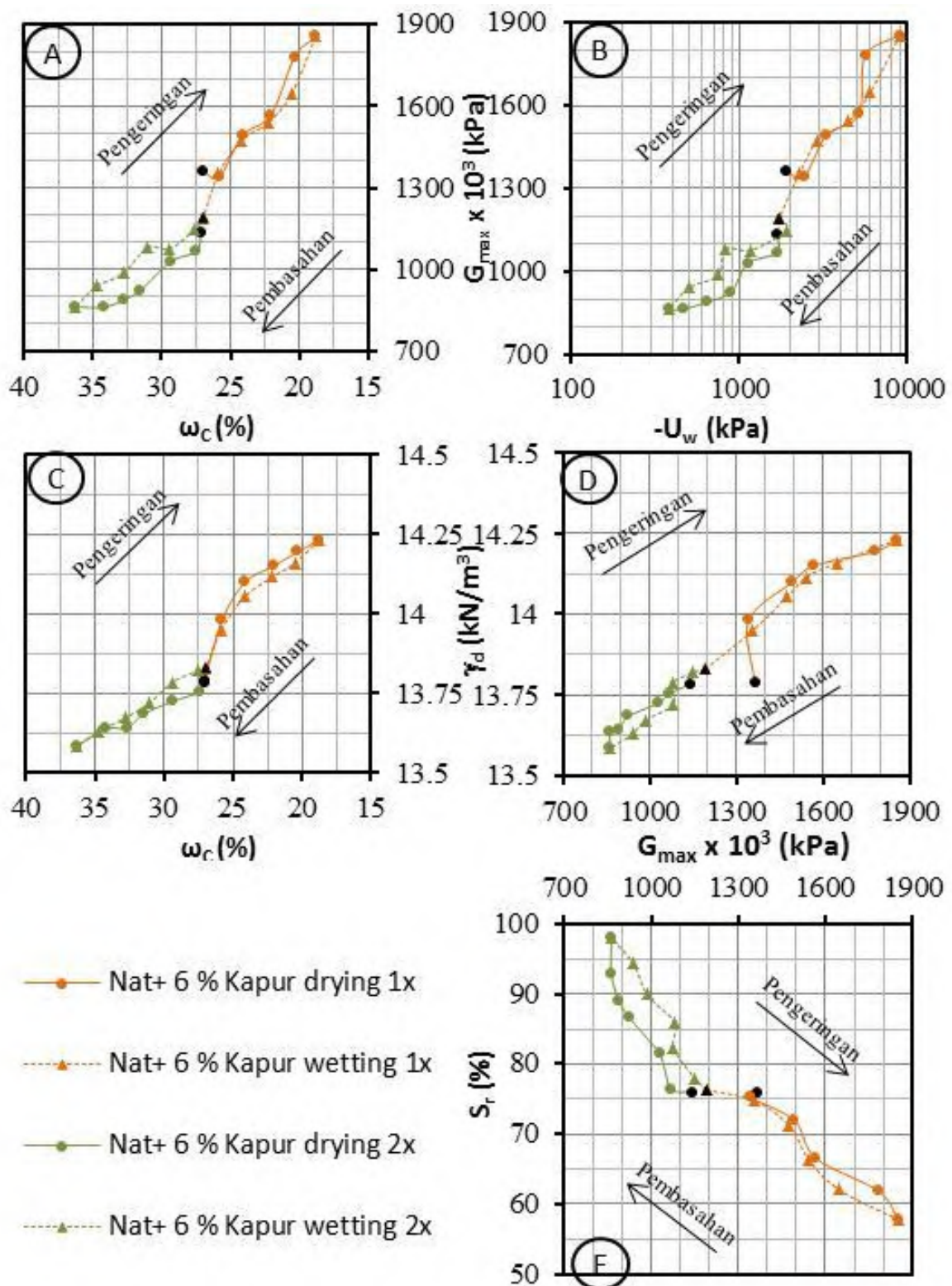
Tanah Natural + 6% kapur :  $\gamma_{d \text{ maks}} = 13.65 \text{ kN/m}^3$   
 $\omega_{c \text{ opt}} = 27 \%$

**Gambar 4.16** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural + 6% kapur  
 (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

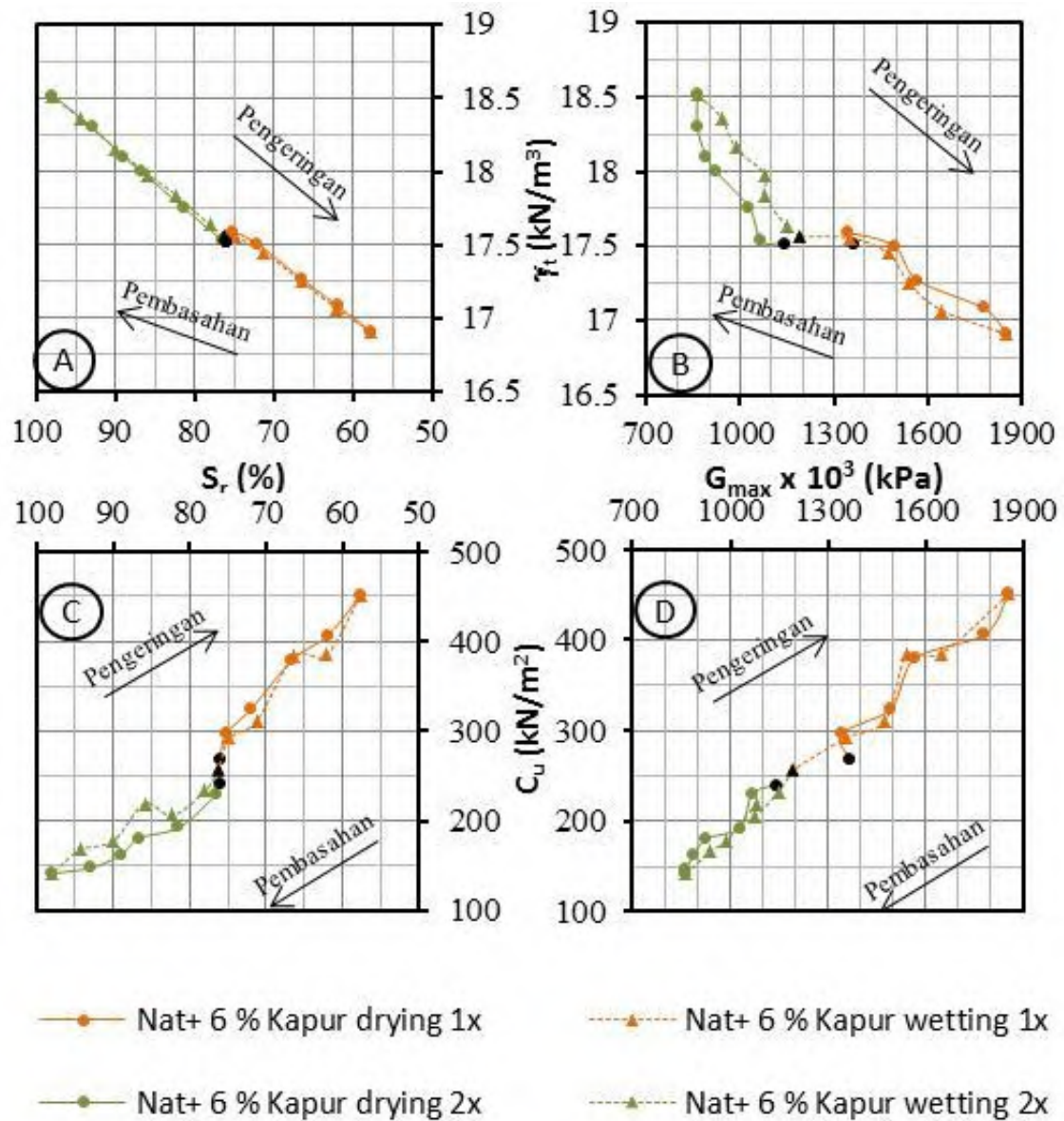




**Gambar 4.19** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

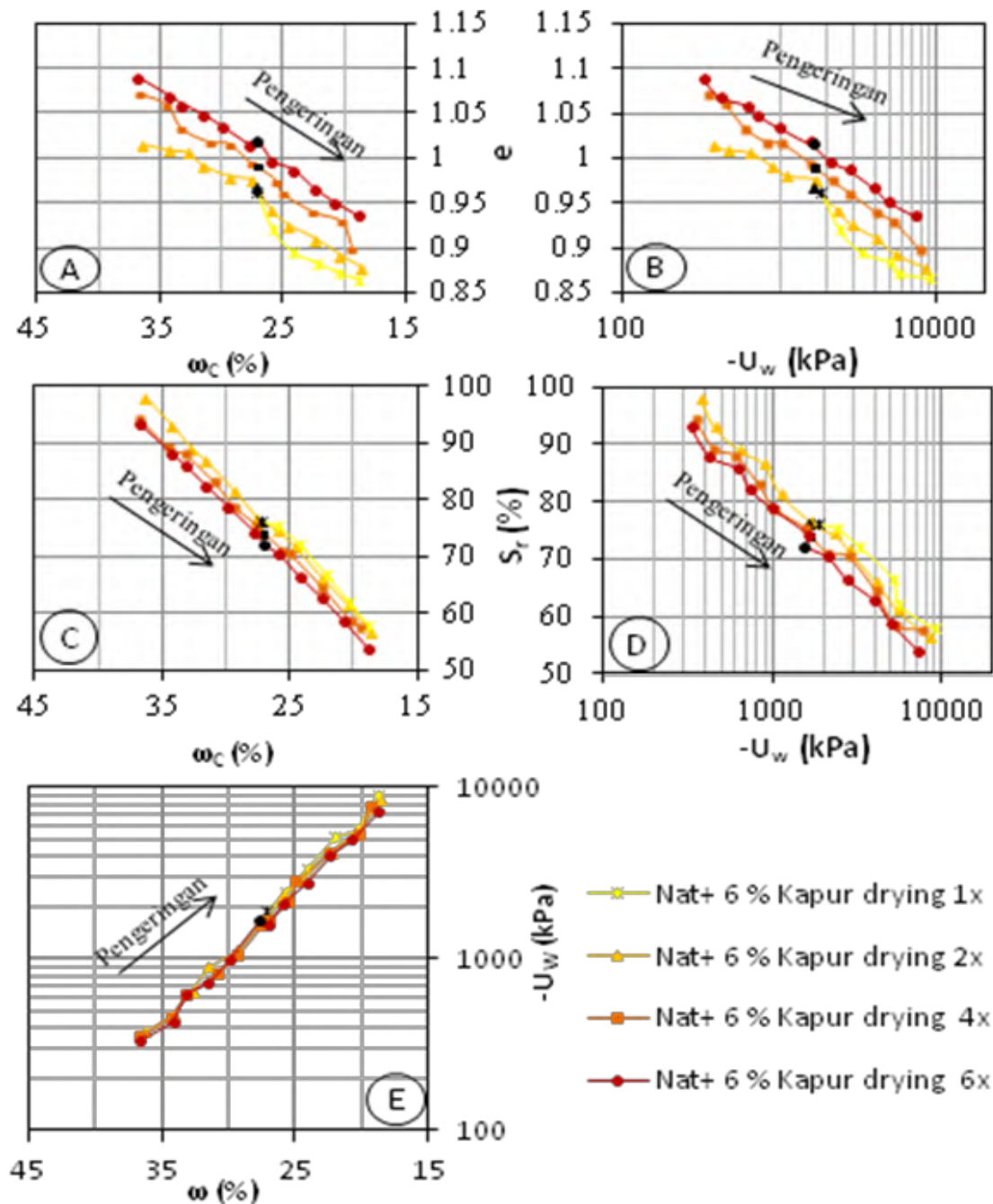


**Gambar 4.20** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural + 6% kapur (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

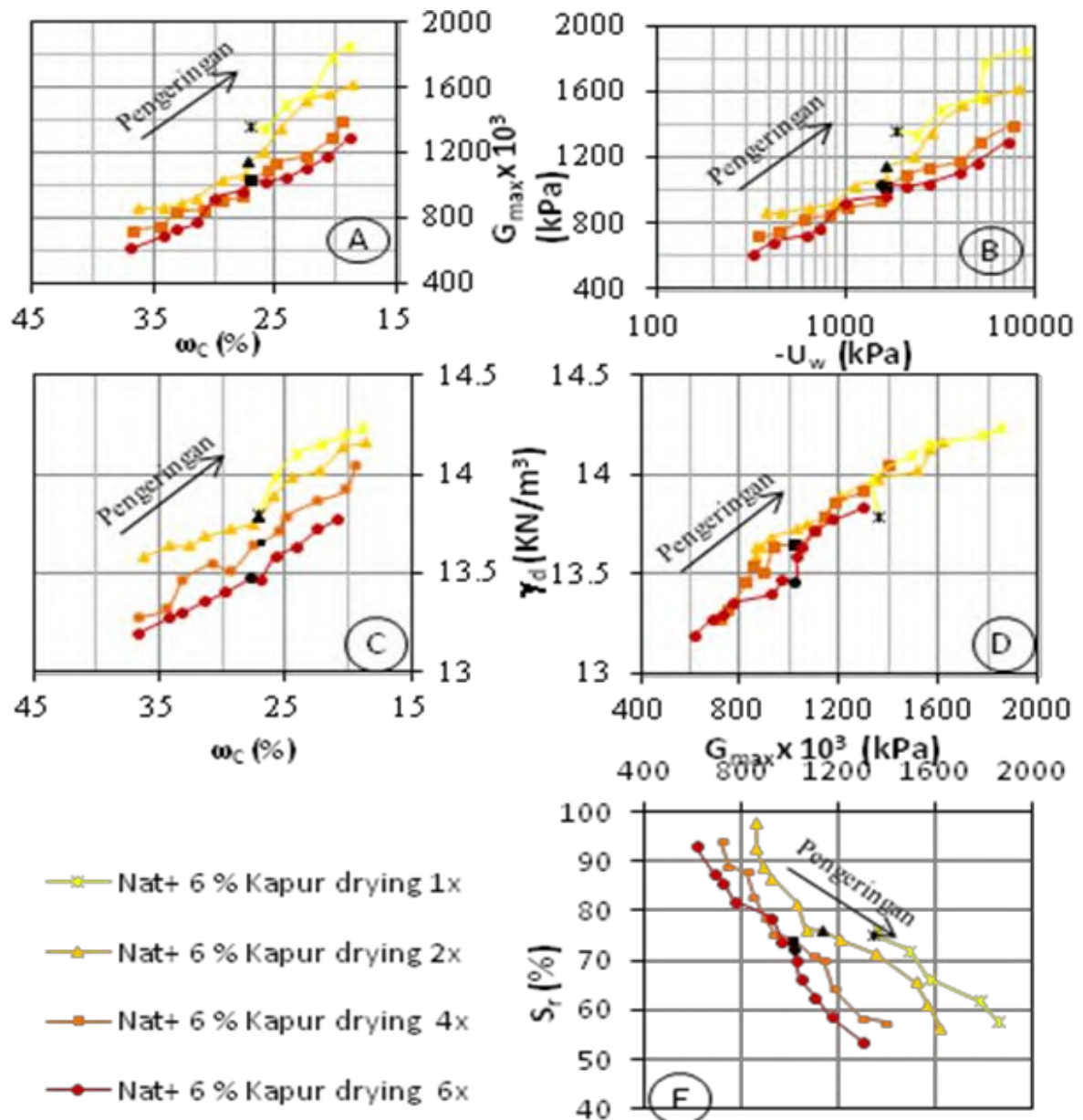


**Gambar 4.21** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural + 6% kapur  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

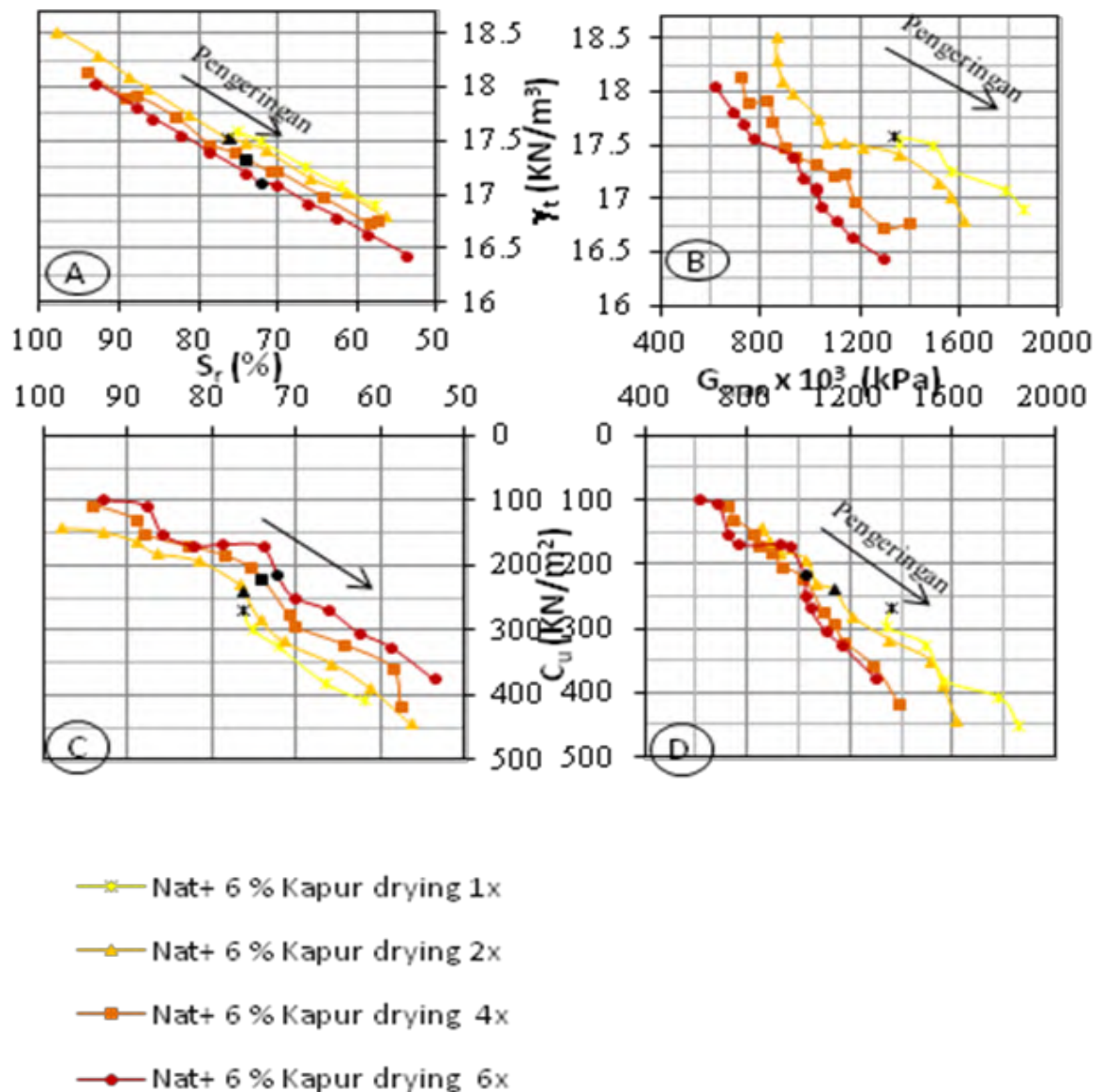




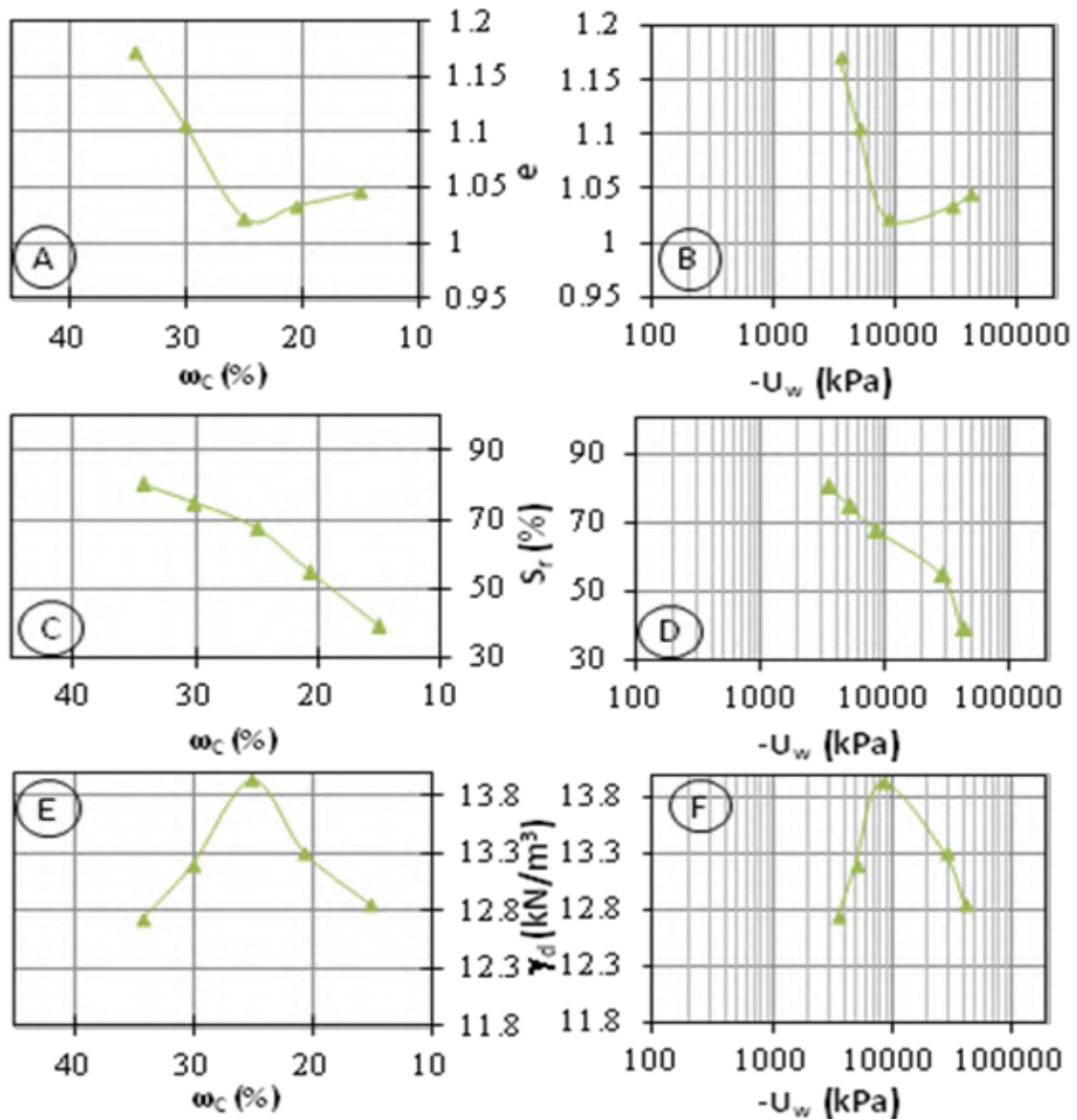
**Gambar 4.22** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural+ 6% kapur.  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



**Gambar 4.23** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, tegangan air pori negatif, modulus geser maksimum, kepadatan kering, dan derajat kejenuhan pada tanah natural+ 6% kapur.  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



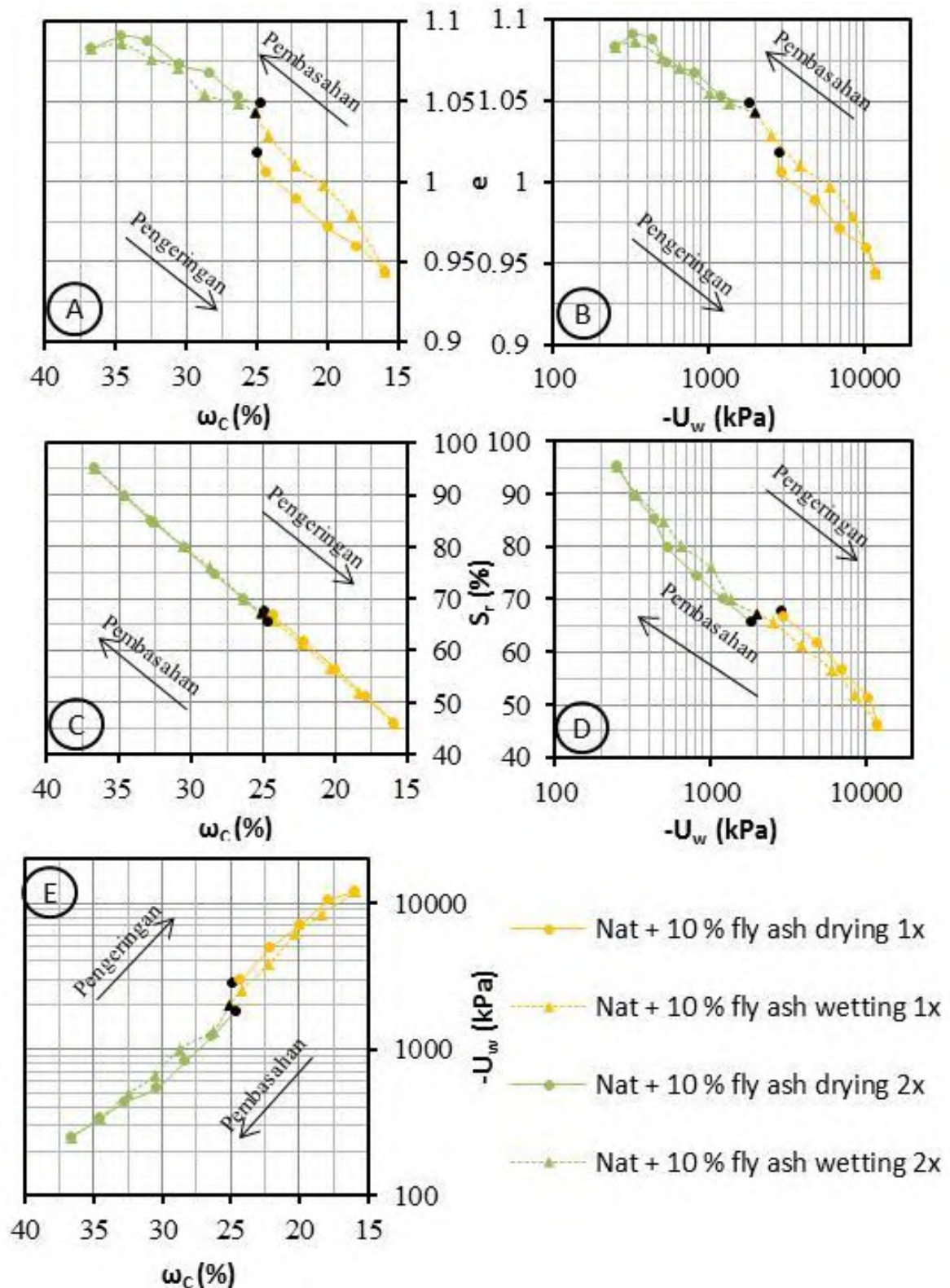
**Gambar 4.24** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural+ 6% kapur.  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



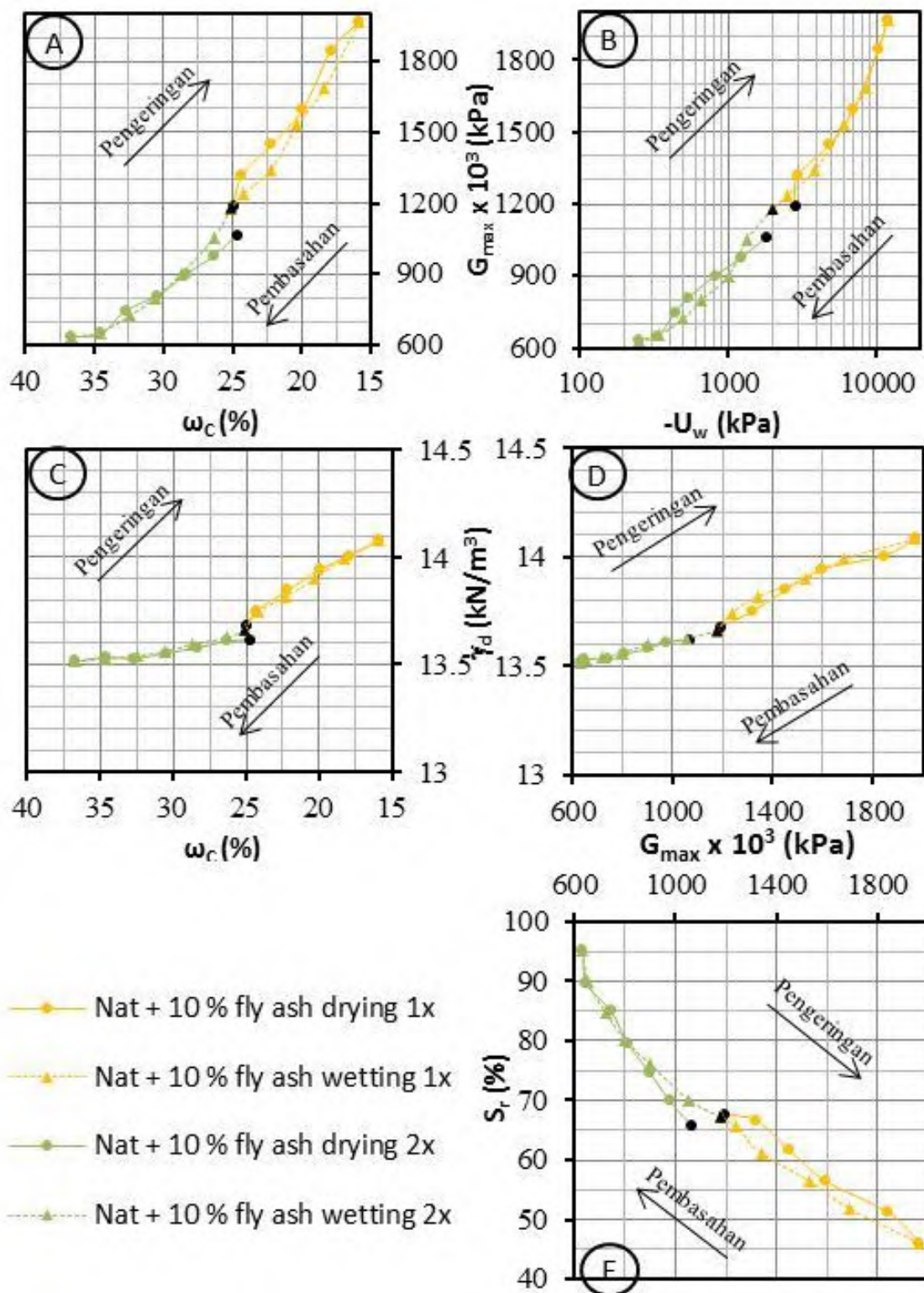
Tanah Natural + 10% *fly ash* :  $\gamma_d \text{ maks} = 13.7 \text{ kN/m}^3$   
 $\omega_c \text{ opt} = 25 \%$

**Gambar 4.28** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian Proctor standar pada tanah natural + 10% *fly ash*  
 (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

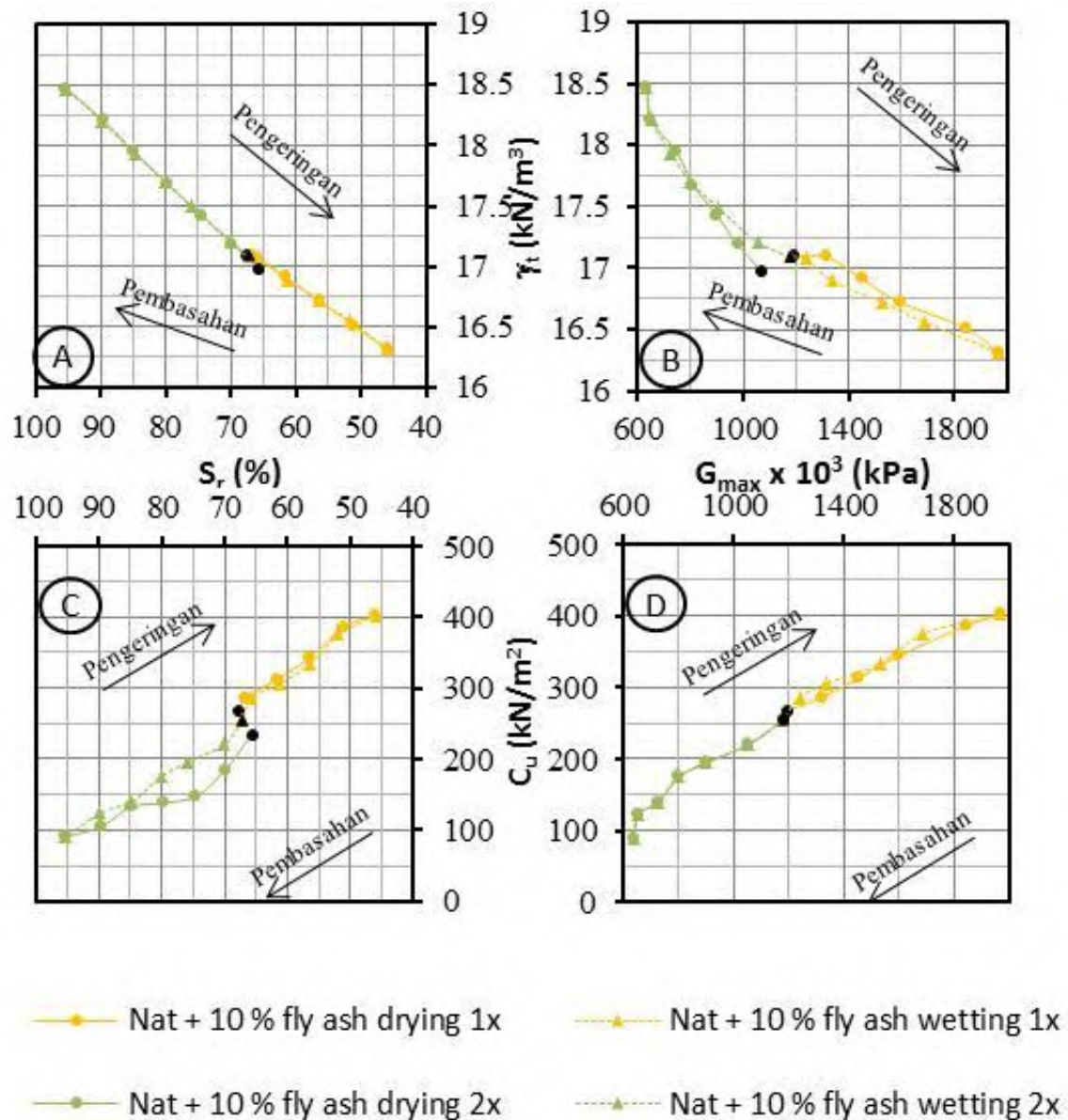




**Gambar 4.31** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 10% *fly ash*  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)

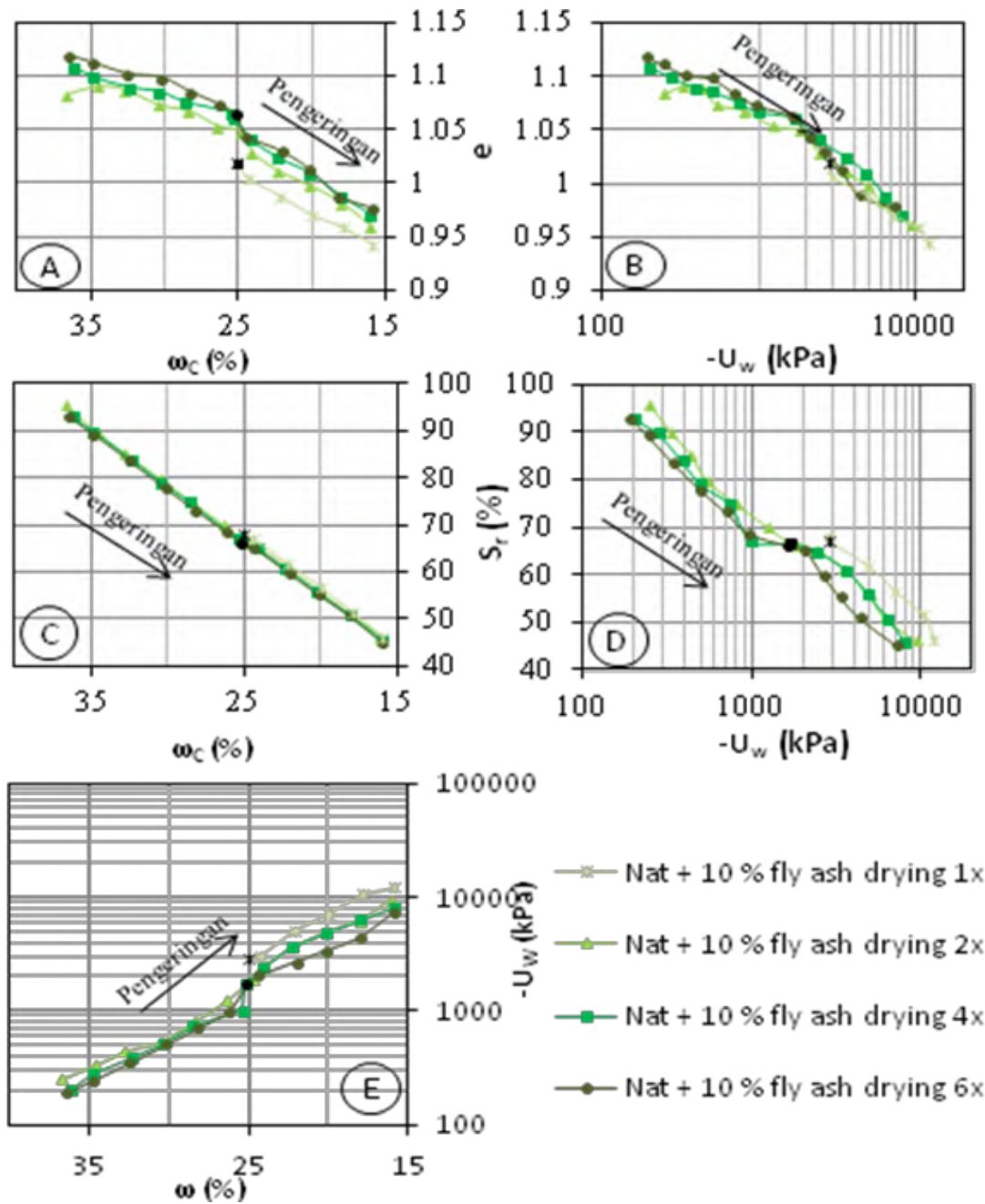


**Gambar 4.32** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, kepadatan kering, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural + 10% fly ash (Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



**Gambar 4.33** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural + 10% fly ash  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)





**Gambar 4.34** Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 10 % *fly ash*.  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2014)



## BIODATA PENULIS



### **Muchamad Januar Pratito,**

Penulis dilahirkan di Magelang, 01 Januari 1990, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Kartika (Magelang), SD Negeri Ambartawang (Magelang), SMP Negeri 1 Mungkid (Magelang), SMA Negeri 3 Magelang. Setelah lulus dari SMAN 3 Magelang tahun 2008, Penulis mengikuti ujian masuk PMDK Program D3 Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang dan diterima pada jurusan tersebut. Setelah lulus dari D3 Teknik Sipil Universitas Diponegoro pada tahun 2011, penulis mengikuti ujian masuk Sarjana ITS program Lintas Jalur Teknik Sipil ITS dan diterima serta terdaftar dengan NRP 3111 106 032. Di jurusan Teknik Sipil ITS ini penulis mengambil Tugas Akhir di bidang Geoteknik.

## **BIODATA PENULIS**



### **Windy Safitri**

Penulis dilahirkan di Jakarta, 16 Juni 1989, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Asah Pra Sekolah (Jakarta), SD Negeri Dukuh 04 (Jakarta), SMP Negeri 20 (Jakarta), SMA Negeri 62 (Jakarta). Setelah lulus dari SMA Negeri 62 Jakarta tahun 2007, Penulis mengikuti ujian masuk Politeknik Negeri Jakarta

Jurusan Teknik Sipil dan diterima pada jurusan tersebut. Setelah lulus dari Politeknik Negeri Jakarta pada tahun 2010, Penulis sempat bekerja di sebuah perusahaan kontraktor di Jakarta selama kurang lebih satu tahun. Setelah resmi keluar dari perusahaan tersebut, penulis mengikuti ujian masuk Sarjana ITS program Lintas Jalur Teknik Sipil ITS dan diterima pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3111 106 026. Di jurusan Teknik Sipil ITS ini penulis mengambil Tugas Akhir di bidang Geoteknik.

## BIODATA PENULIS



### **Cyela Nor Safitri**

Penulis dilahirkan pada 22 April 1990 di Bandung, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Yaqin Bandung, SD Angkasa III Bandung, SMP Negeri 9 Bandung, SMA Negeri 9 Bandung, dan Politeknik Negeri Bandung. Setelah lulus dari Politeknik

Negeri Bandung tahun 2011, Penulis sempat bekerja di sebuah perusahaan kontraktor yang bergerak di bidang pembangunan tower di Jakarta selama beberapa bulan. Setelah resmi keluar dari perusahaan tersebut, penulis mengikuti ujian penerimaan mahasiswa Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Kemudian diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3111106028.

Di jurusan Teknik Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Geoteknik sebagai materi untuk pengerjaan Tugas Akhir.